



TUGAS AKHIR - TM 095502

**PERHITUNGAN ULANG SISTEM PENGGEREMAN
MOBIL NOGOGENI 3 EVO UNTUK SHELL ECO
MARATHON ASIA 2017**

**HAFIDH ALDIZA ARIFIN
NRP. 2114 030 052**

**Dosen Pembimbing
Ir. Arino Anzip, M. Eng. Sc
19610714 198803 1 003**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



TUGAS AKHIR - TM 095502

CALCULATION OF NOGOGENI 3 EVO BRAKING SYSTEM FOR SHELL ECO MARATHON ASIA 2017

HAFIDH ALDIZA ARIFIN
NRP. 2114 030 052

Counselor Lecturer
Ir. Arino Anzip, M. Eng. Sc
19610714 198803 1 003

DIPLOMA III STUDY PROGRAM
Industrial Mechanical Engineering Department
Faculty of Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

“PERHITUNGAN ULANG SISTEM Pengereman MOBIL NOGOGENI 3 EVO UNTUK SHELL ECO MARATHON ASIA 2017”

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HAFIDH ALDIZA ARIFIN
NRP. 2114 030 052

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



I. ARIFIN, M. Eng. Sc
NIP. 19610714 198803 1 003

SURABAYA,
JULI 2017

PERHITUNGAN ULANG SISTEM Pengereman MOBIL NOGOGENI 3 EVO UNTUK SHELL ECO MARATHON ASIA 2017

Nama Mahasiswa : Hafidh Aldiza Arifin
NRP : 2114 030 052
Jurusan : Dept.Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Arino Anzip, M. Eng. Sc

Abstrak

Perkembangan negara industri dapat maju pesat karena dipengaruhi oleh adanya hasil teknologi yang tinggi dimana komponen-komponen mesin memiliki kualitas yang baik dan memenuhi standar, baik dari segi komponen maupun umur penggunaan yang tahan lama. Mobil adalah satu kesatuan terdiri dari berbagai komponen yang menyatu, disebut dengan kendaraan. Masing-masing adalah mesin, chasis dan pemindah daya, listrik dan aksesoris. Sistem pengereman masuk dalam kategori chasis dan menjadi salah satu bagian penting pada kendaraan bermotor karena pengereman adalah salah satu sistem keselamatan kendaraan tersebut. Sistem rem berfungsi untuk mengurangi kecepatan (memperlambat) dan menghentikan kendaraan serta memberikan kemungkinan dapat memparkir kendaraan ditempat yang menurun atau dalam keadaan miring. Sistem pengereman yang baik akan meningkatkan handling dari mobil dan keamanan pengemudi mobil Nogogeni.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan ulang sistem pengereman yang sesuai dengan mobil Nogogeni 3 Evo. Kemudian dilakukan juga perhitungan untuk menentukan besarnya gaya pengereman yang dibutuhkan (F) pada kecepatan 50 km/jam dan jarak 15 meter.

Data yang diambil dalam tugas akhir ini adalah data spesifikasi sistem pengereman yang digunakan pada mobil Nogogeni 3 Evo.

Dari hasil perhitungan dan analisis data, diketahui bahwa besarnya gaya pengereman yang dibutuhkan (F) pada kecepatan 50 km/jam dan jarak 15 meter dengan kondisi jalan lurus adalah 25.762 kgf.

Kata kunci : Sistem Pengereman, Rem Cakram, Rem Hidraulik, Nogogeni 3 Evo.

RECALCULATION OF NOGOGENI 3 EVO BRAKING SYSTEM FOR SHELL ECO MARATHON ASIA 2017

Name of student : **Hafidh Aldiza Arifin**
NRP : **2114 030 052**
Department : **Industrial Mechanical Engineer FV-ITS**
Advisor : **Ir. Arino Anzip, M. Eng. Sc**

Abstrak

The development of industrialized countries can progress rapidly because it is influenced by the presence of high technological results where the engine components have good quality and meet the standards, both in terms of components and durable usage life. A car is a unity consisting of various components that converge, called a vehicle. Each is a machine, chassis and power transfer, electricity and accessories. The braking system falls into the chassis category and becomes an important part of motor vehicles because braking is one of the vehicle safety systems. Brake system serves to reduce speed (slow) and stop the vehicle and provide the possibility to park the vehicle in a place that is down or in a state of tilt. A good braking system will improve the handling of the car and the safety of the Nogogeni car driver.

In this final project will be re-calculated braking system in accordance with the car Nogogeni 3 Evo. Then performed also calculations to determine the amount of braking force required (F) at a speed of 50 km / h and a distance of 15 meters.

Data taken in this thesis is data specification of braking system used in car Nogogeni 3 Evo.

From the calculation and data analysis, it is known that the amount of braking force required (F) at the speed of 50 km / h and the distance of 15 meters with a straight road condition is 25,762 kgf.

Keywords : Braking system, Disc brake, Hydraulic Braking system, Nogogeni 3 Evo.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala berkah, hidayah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebelum menyelesaikan pendidikan di Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS yang merupakan integrasi dari semua materi yang telah diberikan selama perkuliahan.

Adapun keberhasilan penulisan dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi, masukan, saran dan dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada

1. Bapak Zaenal Arifin dan (Alm.) Ibu Diyah Hari Prayogi serta adik-adik tercinta atas kasih sayang, do'a, dukungannya serta dukungan finansial yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Arino Anzip, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran serta bimbinganya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhirnya.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Ketua Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin Industri FV-ITS
4. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin Industri FV-ITS
5. Bapak Dr. Dedy Zulhidayat Noor, MT. selaku dosen pembimbing Tim Nogogeni ITS
6. Bapak Ir. Denny M.E.Soedjono, MT selaku dosen wali selama kuliah di Diploma III Jurusan Teknik Mesin Industri FV-ITS

7. Semua Dosen dan Karyawan Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
8. Teman-teman yang telah membantu selama pengerjaan tugas akhir, Ni'matur Rochmah, Rany Nugrahani, Revina Hilda, Faridatus Zulfa, M. Hermawan Listyoputra, Radhika Anggara. Tanpa kalian buku ini tidak selesai.
9. Partner tugas akhir Dicko, Hendri, dan Ali Fakhri.
10. Teman-teman Tim Teknis Nogogeni, Andrian, Haryo, Aditya, Rizky Akbar, Dadik, Rohmadoni, Sidik, Norvan, Sakti, Farras, Adiet, dan Anam.
11. Teman-teman D3 Teknik Mesin ITS angkatan 2014, terimakasih atas bantuan yang sudah diberikan.
12. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| TITLE PAGE | ii |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | v |
| LEMBAR PENGESAHAN | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xvii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|----------------------------------|---|
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah | 3 |
| 1.5. Manfaat | 3 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 4 |

BAB II DASAR TEORI

| | |
|--|----|
| 2.1 Definisi Rem | 5 |
| 2.2 Tipe – Tipe Rem | 6 |
| 2.2.1 BerdasarkanKonstruksi..... | 6 |
| 2.2.1.1 Rem Tromol | 7 |
| 2.2.1.2 Rem Cakram | 10 |
| 2.2.2 Berdasarkan Tempatnya | 13 |
| 2.2.2.1 Rem Roda | 13 |
| 2.2.2.2 Rem <i>Propeller</i> | 14 |
| 2.2.3 Berdasarkan Layanannya..... | 14 |
| 2.2.3.1 <i>Foot Brake</i> | 14 |
| 2.2.3.2 <i>Hand Brake</i> | 15 |
| 2.2.4 Berdasarkan Mekanisme Penggeraknya | 15 |
| 2.2.4.1 Rem Mekanik..... | 15 |
| 2.2.4.2 Rem Hidraulik..... | 16 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.4.3 | Rem Angin | 17 |
| 2.2.4.4 | <i>Brake Booster</i> | 17 |
| 2.3 | Spesifikasi Mobil Nogogeni 3 Evo | 19 |
| 2.4 | Sistem Pengereman Pada Nogogeni 3 Evo | 20 |
| 2.4.1 | Komponen Utama <i>Disk Brake</i> | 20 |
| 2.4.1.1 | <i>Caliper</i> | 20 |
| 2.4.1.2 | <i>Brake Pads</i> | 21 |
| 2.4.1.3 | Rotor | 21 |
| 2.4.2 | Cara kerja <i>Hydraulic Disc Brake</i> | 21 |
| 2.5 | Rem Hidraulik..... | 22 |
| 2.5.1 | Komponen Utama Rem Hidraulik..... | 23 |
| 2.5.1.1 | Master silinder | 23 |
| 2.5.1.2 | Kaliper Rem..... | 24 |
| 2.5.1.3 | <i>Brake Hose</i> | 24 |
| 2.5.1.4 | Piringan Cakram | 24 |
| 2.5.1.5 | Kampas Rem..... | 24 |
| 2.5.2 | Sistem Kerja Rem Hidraulik | 24 |
| 2.6 | Kinematika | 25 |
| 2.6.1 | Pergeseran, Kecepatan dan Percepatan..... | 25 |
| 2.6.1.1 | Pergeseran | 25 |
| 2.6.1.2 | Kecepatan | 26 |
| 2.6.1.3 | Percepatan | 27 |
| 2.6.2 | Gerak Dalam Satu Dimensi dengan Percepatan Konstan..... | 28 |
| 2.6.2.1 | Gerak Dalam Arah Sumbu X | 28 |
| 2.7 | Hukum Newton Tentang Gerak | 30 |
| 2.7.1 | Gerak dan Gaya | 30 |
| 2.7.2 | Hukum I Newton | 30 |
| 2.7.3 | Hukum II Newton | 31 |
| 2.7.4 | Hukum III Newton | 33 |
| 2.7.5 | Gerak Benda yang Dihubungkan dengan Katrol..... | 36 |
| 2.7.6 | Benda Bergerak Pada Bidang Miring..... | 37 |
| 2.7.6.1 | Gaya Gesek (F_g)..... | 38 |
| 2.8 | Hukum Pascal | 38 |

| | |
|----------------------------|----|
| 2.9 Selang Hidraulik | 40 |
|----------------------------|----|

BAB III METODOLOGI

| | |
|---|----|
| 3.1. Diagaram Alir Pengerjaan Tugas Akhir | 47 |
| 3.2. Penjelasan Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir ... | 48 |
| 3.2.1. Tahap Identifikasi | 48 |
| 3.2.2. Tahap Pengambilan Data dan Analisis | 48 |
| 3.2.3. Tahap Penarikan Kesimpulan dan Saran | 49 |

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| 4.1 Spesifikasi dan Sistem Pengereman Mobil Nogogeni 3 Evo..... | 51 |
| 4.2 Analisis Perhitungan Sistem Pengereman..... | 51 |
| 4.2.1 Perhitungan dengan Kondisi Jalan Lurus..... | 52 |
| 4.2.2 Gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan mobil..... | 54 |
| 4.2.3 Gaya Pengereman pada tiap Roda..... | 59 |
| 4.2.4 Gaya pengereman pada <i>Disc Brake</i> | 59 |
| 4.2.5 Gaya tekan pada Kampas rem..... | 60 |
| 4.2.6 Perhitungan Tekanan Hidrolik..... | 60 |
| 4.2.7 Gaya yang pada Master Silinder..... | 61 |
| 4.2.8 Gaya dorong yang diaplikasikan oleh kaki Driver..... | 61 |
| 4.2.9 Gaya tekan kaki total yang diperlukan..... | 62 |
| 4.3 Kapabilitas kaki driver untuk mengerem..... | 63 |
| 4.4 Pemilihan selang rem yang sesuai..... | 65 |

BAB V PENUTUP

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 66 |
| 5.2 Saran | 66 |

DAFTAR PUSTAKA.....

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Disc Brake dan Drum Brake | 6 |
| Gambar 2.2 | Rem Tromol Hidrolik..... | 7 |
| Gambar 2.3 | Rem Cakram Hidrolik | 11 |
| Gambar 2.4 | <i>Sliding dan Fixed Caliper</i> | 12 |
| Gambar 2.5 | Rem Kaki | 14 |
| Gambar 2.6 | Hand Brake..... | 15 |
| Gambar 2.7 | Sistem Rem Mekanik | 15 |
| Gambar 2.8 | Sistem Rem Hidrolik..... | 17 |
| Gambar 2.9 | Sistem Rem Angin | 17 |
| Gambar 2.10 | Cara kerja Booster Rem | 18 |
| Gambar 2.11 | Gerak Translasi | 25 |
| Gambar 2.12 | Perpindahan Partikel | 26 |
| Gambar 2.13 | Perpindahan partikel 2 Posisi | 26 |
| Gambar 2.14 | Cara Kerja Hukum II Newton | 31 |
| Gambar 2.15 | Resultan Gaya pada hk. Newton II(1) | 33 |
| Gambar 2.16 | Resultan Gaya pada hk. Newton II(2) | 33 |
| Gambar 2.17 | Resultan Gaya pada hk. Newton II(3) | 34 |
| Gambar 2.18 | Pasangan Aksi Reaksi | 34 |
| Gambar 2.19 | Macam-macam keadaan gaya Normal | 35 |
| Gambar 2.20 | Gambar gaya aksi-reaksi | 35 |
| Gambar 2.21 | Hubungan tegangan tali terhadap Percepatan(1) .. | 36 |
| Gambar 2.22 | Hubungan tegangan tali terhadap Percepatan(2) .. | 36 |
| Gambar 2.23 | Hubungan tegangan tali terhadap Percepatan(3) .. | 36 |
| Gambar 2.24 | Gerak benda yang dihubungkan katrol (1) | 37 |
| Gambar 2.25 | Gerak benda yang dihubungkan katrol (2) | 37 |
| Gambar 2.26 | Benda Bergerak pada Bidang Miring | 38 |
| Gambar 2.27 | Hukum Pascal..... | 39 |
| Gambar 2.28 | Tegangan Tarik | 43 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir..... | 47 |
| Gambar 4.1 | <i>Free Body Diagram</i> perlambatan mobil..... | 53 |
| Gambar 4.2 | <i>Free Body Diagram</i> gaya yang bekerja..... | 54 |
| Gambar 4.3 | <i>Free body diagram</i> pada Roda | 56 |
| Gambar 4.4 | Gaya yang bekerja pada master silinder..... | 57 |

Gambar 4.5 Posisi duduk Driver pada mobil Nogogeni 59

Gambar 4.6 *Foot force capabilities*..... 59

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|-------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Besaran Turunan dan satuannya | 31 |
| Tabel 2.2 | Besaran dan satuan | 32 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan negara industri dapat maju pesat karena dipengaruhi oleh adanya hasil teknologi yang tinggi dimana komponen-komponen mesin memiliki kualitas yang baik dan memenuhi standar, baik dari segi komponen maupun umur penggunaan yang tahan lama. Mobil adalah satu kesatuan terdiri dari berbagai komponen yang menyatu, disebut dengan kendaraan. Masing-masing adalah mesin, chasis dan pemindah daya, listrik dan aksesoris.

Sistem pengereman masuk dalam kategori chasis dan menjadi salah satu bagian penting pada kendaraan bermotor karena pengereman adalah salah satu sistem keselamatan kendaraan tersebut. Sistem rem berfungsi untuk mengurangi kecepatan (memperlambat) dan menghentikan kendaraan serta memberikan kemungkinan dapat memparkir kendaraan ditempat yang menurun atau dalam keadaan miring. Sistem pengereman yang baik akan meningkatkan *handling* dari mobil dan keamanan pengemudi mobil Nogogeni.

Mobil Nogogeni 3 Evo adalah mobil yang digunakan untuk kompetisi kendaraan hemat energi yang diselenggarakan oleh Ristek Dikti dan Shell. Mobil ini mengikuti kompetisi pada kelas Urban Concept, yang berarti mobil yang menyerupai mobil pada umumnya. Mobil Nogogeni menggunakan Baterai dan motor listrik sebagai penggerak utama. Pada tahun 2016 Mobil Nogogeni 3 Evo mendapatkan juara 2 pada Kontes Mobil Hemat Energi yang diselenggarakan di area Candi Prambanan dengan perolehan 152.587 km/kWh, kemudian pada tahun 2017 menempati posisi 3 pada kompetisi Shell Eco Marathon Asia 2017 di Changi Exhibition Center, Singapura, dengan perolehan 100.1 km/kWh.

Sistem pengereman mobil Nogogeni 3 Evo menggunakan sistem pengereman sepeda pada ajang KMHE 2016, namun pada

kompetisi Shell Eco Marathon Asia 2017 penggunaan rem sepeda dilarang, maka dari itu dilakukan perancangan ulang sistem pengereman menggunakan sistem pengereman sepeda motor dan mobil pada umumnya.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan ulang sistem pengereman yang sesuai dengan mobil Nogogeni 3 Evo. Kemudian dilakukan juga perhitungan untuk menentukan besarnya gaya pengereman yang dibutuhkan (F) pada kecepatan 50 km/jam dan jarak 15 meter.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam merancang sistem pengereman mobil Nogogeni 3 Evo muncul beberapa permasalahan, yaitu:

1. Menghitung ulang tekanan hidrolik pada Brake Line atau selang mobil Nogogeni.
2. Menghitung gaya pengereman dinamis dengan jarak pengereman 15 meter dan kecepatan 50 km/jam
3. Menghitung gaya tekan kaki yang dibutuhkan untuk menghentikan mobil pada kecepatan 50 km/jam dengan jarak pengereman 15 meter.
4. Kemampuan driver untuk menghasilkan gaya tekan kaki yang dibutuhkan untuk mengerem.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui tekanan hidrolik pada brake line mobil Nogogeni 3 Evo.
2. Mengetahui gaya pengereman yang dibutuhkan untuk mengerem pada kecepatan 50 km/jam dengan jarak 15 m dan parkir pada kemiringan 15°.
3. Dapat mengetahui gaya kaki yang dibutuhkan untuk menghentikan mobil pada kecepatan 50 km/jam pada kondisi jalan mendatar dengan jarak 15 meter.
4. Mengetahui kemampuan driver untuk menghasilkan gaya tekan kaki untuk pengereman yang dibutuhkan.

1.4. Batasan masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan pengujian sistem pengereman pada mobil Nogogeni ini, diperlukan batasan-batasan dengan tujuan memudahkan dalam penitikberatan permasalahan dan agar pembahasan berlangsung dengan baik. Batasan-batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengujian ini menggunakan sistem pengereman hidrolik disc brake, single piston floating caliper pada setiap roda.
2. Diameter disc brake pada roda depan dan belakang sama.
3. Menggunakan mobil Nogogeni 3 Evo untuk percobaan.
4. Rancang bangun sistem pengereman tidak dibahas.
5. Kerugian gesekan pada poros dianggap tidak ada.
6. Kerugian atau losses distribusi minyak rem diabaikan.
7. beban Driver 70 kg.
8. Menggunakan lintasan aspal hotmix.
9. Pengereman pada lintasan datar dan lurus.

1.5. Manfaat

Manfaat yang didapat dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat merancang sistem pengereman sederhana pada sebuah mobil
2. Mampu berkontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.
3. Memperoleh data pengujian sistem pengereman sehingga nantinya dapat dirancang sistem yang lebih baik dan efisien
4. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang lebih detail.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan ini akan disusun dalam bentuk bab-bab dan beberapa sub bab sebagai tambahan keterangan. Bab-bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang pembuatan tugas akhir sistem pengereman mobil Nogogeni, penggalan masalah yang ada pada sistem pengereman yang lama, melakukan pembatasan masalah pada kondisi kerja kendaraan, menentukan tujuan, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini berisi tentang dasar teori pada sistem pengereman mobil Nogogeni yang digunakan sebagai pendukung perhitungan didalam tugas akhir ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tentang bagaimana proses perencanaan dan simulasi sistem pengereman mobil Nogogeni hingga didapat hasil yang baik.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat uraian perencanaan dalam pembuatan sistem pengereman yang mencakup semua perhitungan dengan batasan masalah yang telah di tentukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diuraikan hasil perencanaan dan perhitungan secara singkat serta saran untuk kedepan dalam pengembangan mobil Nogogeni berdasarkan tujuan tugas akhir dan rumusan masalah yang dibuat.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi Rem

Rem adalah komponen kendaraan yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan laju kendaraan. Sistem ini harus terpasang pada setiap kendaraan darat, air, dan udara karena sebagai penjamin keamanan. Selain itu, rem diharapkan bisa menghentikan kendaraan di tempat manapun dengan jarak dan waktu yang memadai serta kendaraan yang terarah dan terkendali. Saat kendaraan bergerak, meskipun sudah tidak terhubung lagi dengan transmisi, kendaraan masih akan tetap bergerak pada jarak tertentu sebelum berhenti dengan sendirinya. Mesin merubah energi panas menjadi energi kinetik (energi gerak) untuk menggerakkan kendaraan. Sebaliknya, prinsip kerja rem adalah mengubah energi kinetik kembali menjadi energi panas untuk menghentikan kendaraan. Rem bekerja disebabkan oleh adanya gesekan antara gerak putar (*disc*) dengan penekanan (*pad*) [1].

Sistem rem dari suatu kendaraan merupakan salah satu elemen terpenting dari suatu kendaraan, karena merupakan bagian terpenting untuk keamanan kendaraan. Sistem rem kendaraan harus mampu mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan secara aman baik pada kondisi jalan lurus maupun belok pada segala kecepatan. Pada dasarnya besar ideal gaya rem yang dibutuhkan setiap kendaraan adalah berbeda. Begitu juga distribusi ideal gaya rem pada setiap roda untuk setiap kendaraan berbeda. Hal ini berarti bahwa sistem rem dari satu kendaraan tidak langsung memenuhi kebutuhan pengereman untuk kendaraan lain

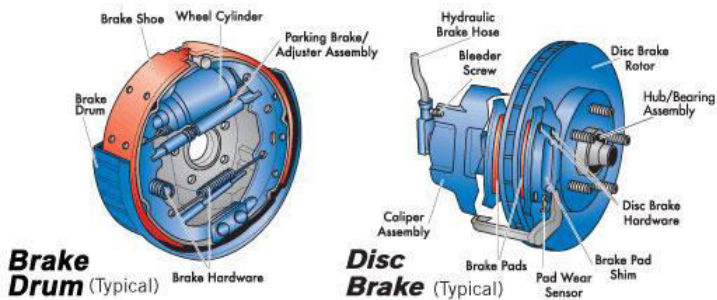
Sistem pengereman menghasilkan gaya pengereman pada kendaraan dengan mengubah energi kinetik dari kendaraan menjadi energi panas dengan memanfaatkan gaya gesek, sehingga dibutuhkan beberapa persyaratan yaitu:

- Sistem pengereman tidak mempengaruhi gerak roda saat dipakai.
- Sistem pengereman harus bisa berfungsi dengan baik dalam keadaan *maximum speed* dengan beban pada kendaraan.
- Pengoperasian rem harus mudah tanpa menimbulkan kelelahan dan usaha berlebih pada pengendara.
- Harus menghasilkan pengereman yang pasti dan mudah dalam mengecek dan mengontrol kondisi sistem pengereman.
- Sistem pengereman harus memiliki durabilitas dan reliabilitas yang baik pada segala cuaca.

2.2 Tipe-tipe Rem

2.2.1 Berdasarkan Konstruksi

Berdasarkan konstruksinya, rem dibedakan menjadi dua macam yaitu rem tromol(*Drum Brake*) dan rem cakram(*Disc Brake*)

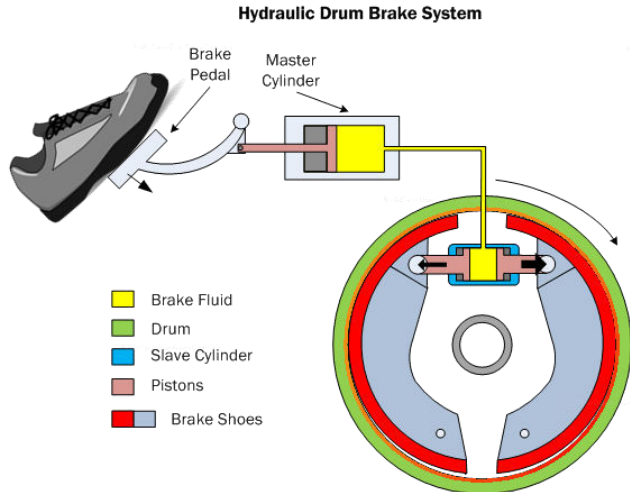


Gambar 2.1 *Disc Brake* dan *Drum Brake* [2]

2.2.1.1 Rem tromol

Rem tromol atau Drum brake adalah salah satu konstruksi rem yang cara pengeremannya dengan menggunakan tromol rem (*drum brake*), sepatu rem (*brake shoe*), dan silinder roda (*wheel cylinder*). Pada

dasarnya jenis rem tromol yang digunakan roda depan dan belakang tidak sama, hal ini dimaksudkan supaya sistem rem dapat berfungsi dengan baik.



Gambar 2.2 Rem Tromol Hidrolik [3]

Cara kerja rem tromol yaitu Saat pengemudi menginjak pedal rem, master silinder menekan fluida kemudian fluida meneruskan tekanan ke silinder roda, silinder roda kemudian menekan sepatu rem yang akhirnya sepatu rem yang membawa kampas rem menekan tromol dan menimbulkan gesekan antara kampas rem dan tromol, gesekan inilah yang menyebabkan kendaraan melambat atau berhenti.

Adapun bagian-bagian utama rem tromol adalah sebagai berikut:

1. Silinder Roda (*Wheel cylinder*)

Wheel cylinder berfungsi untuk menekan *brake shoe* (sepatu rem) ke *brake drum* (Tromol rem). Didalam silinder roda terpasang satu atau dua buah piston beserta seal tergantung dari konstruksi rem

tromolnya. Bila *brake pedal* diinjak, tekanan minyak rem dari *master silinder* disalurkan ke semua *wheel silinder*, tekanan didalam *wheel silinder* menekan piston kearah luar dan selanjutnya piston menekan *brake shoe* menggesek tromol sehingga roda berhenti. Bila *brake pedal* dilepas, maka *brake shoe* kembali ke posisi semula oleh tarikan pegas, roda bebas.

2. Sepatu Rem (*Brake shoe*)

Brake shoe berfungsi untuk menahan putaran *brake drum* melalui gesekan. Pada bagian luar *brake shoe* terbuat dari asbes dengan tembaga atau campuran plastik yang tahan panas.

3. Pegas pengembali (*Return Spring*)

Berfungsi untuk mengembalikan sepatu rem (*Brake shoe*) ke posisi semula pada saat tekanan silinder roda turun.

4. *Backing Plate*

Berfungsi sebagai tumpuan untuk menahan putaran drum sekaligus sebagaiudukan silinder roda. Rem tromol memiliki tipe yang berbeda-beda. Diantaranya adalah:

a. Tipe *Leading and Trailing*

Jenis ini hanya menggunakan satu silinder roda dengan dua piston di dalamnya. Sepatu kiri disebut *leading* dan sepatu kanan disebut *trailing*. Sepatu roda yang tidak berhubungan dengan silinder roda ditumpu oleh *anchor pin* sehingga tidak dapat bergerak. Gaya pengereman tipe ini sama kekuatannya pada saat maju atau mundur sehingga lebih cocok untuk rem roda belakang.

b. Tipe *Uniservo*

Konstruksi model ini dilengkapi dengan dua buah silinder di bagian atas sepatu primer dan sekunder. Bila pedal rem ditekan maka piston bergerak mendorong sepatu rem searah putaran tromol. Akibatnya timbul gesekan dan diteruskan ke sepatu sekunder. Gerakan sepatu *trailing* dijaga silinder roda dan tenaga rem yang dihasilkan besar. Bila putaran tromol terbalik, maka kedua sepatu rem akan menjadi *trailing* dan efek pengereman jelek. Kekuatan pengereman jenis ini lebih kuat pada saat maju dibanding mundur, sehingga lebih cocok untuk rem depan.

c. Tipe *Duoservo*

Tipe ini hampir sama dengan tipe *leading and trailing*, perbedaannya pada sepatu rem yang tidak berhubungan dengan silinder roda tidak diikat mati, atau diikat mengambang sehingga dapat bergerak. Seperti pada tipe *uniservo*, tekanan hidraulik yang diterima sepatu rem diteruskan ke sepatu rem yang lain. Kekuatan pengereman tipe ini sama kuatnya antara maju dan mundur, sehingga lebih cocok untuk rem belakang tetapi kekuatan pengeremannya lebih kuat dibanding tipe *leading and trailing*.

d. Tipe *Two Leading Single Action*

Konstruksi model ini pada bagian atas sepatu primer dan sekunder di pasang sebuah silinder roda dengan penyetel sepatu rem menjadi *leading* jika berputar sebaliknya maka kedua sepatu rem menjadi *trailing*.

e. Tipe Two Leading Double Action

Konstruksi model ini dilengkapi dengan dua buah silinder roda yang dipasang di atas dan di bawah sepatu primer dan sekunder. Pada model ini baik maju maupun mundur kedua sepatu menjadi *trailling*.

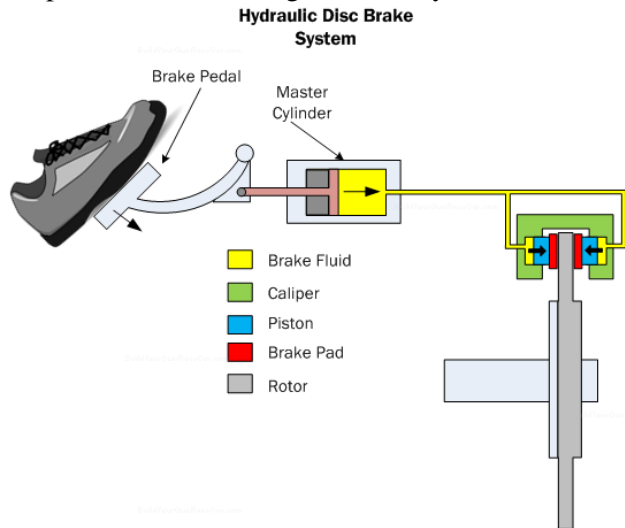
2.2.1.2 Rem Cakram

Cara kerja rem cakram (*Disc Brake*) berbeda dengan cara kerja rem tromol, walaupun secara prinsip, keduanya menggunakan gaya yang sama untuk mengurangi kecepatan yaitu gaya gesek. Pada sistem rem cakram, gaya gesek yang digunakan untuk mengurangi kecepatan adalah gaya gesek antara kampas rem (*brake pad*) dengan piringan rem (*disc brake rotor*).

Rem piringan efektif karena rotor piringannya terbuka terhadap aliran udara yang dingin dan karena rotor piringan tersebut dapat membuang air dengan segera. Karena itulah gaya pengereman yang baik dapat terjamin walau pada kecepatan tinggi. Sebaliknya berhubung tidak adanya *self servo effect*, maka dibutuhkan gaya pedal yang lebih besar dibandingkan dengan rem tromol. Karena alasan inilah booster rem biasanya digunakan untuk membantu gaya pedal.

Pada saat mobil bergerak maka piringan rem akan mengikuti pergerakan roda. Karena keduanya disatukan dengan poros yang sama maka kecepatan berputar piringan rem dan roda adalah sama. Menghentikan pergerakan piringan roda sama dengan menghentikan pergerakan roda. Proses pengereman diawali pada saat kita menekan pedal rem. Kemudian gaya tersebut akan diteruskan mulai dari pedal rem

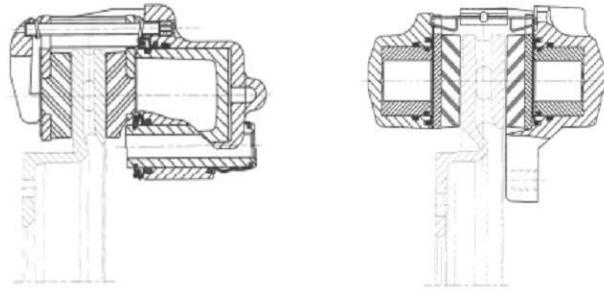
melalui jalur rem hingga mencapai piston pada kaliper rem. Piston tersebut akan mendorong kampas rem hingga bergesekan dengan piringan rem. Dengan konstruksi pada kaliper maka kampas rem di sisi lain juga akan bergerak hingga bergesekan dengan piringan rem. Sehingga kedua kampas rem tersebut menjepit piringan rem. Gaya gesek yang terjadi akan menghambat putaran dari piringan rem dan sekaligus akan mengurangi kecepatan putar dari roda, sehingga kecepatan terus berkurang dan akhirnya roda berhenti.



Gambar 2.3 Rem Cakram Hidrolik [3]

Celah rem atau celah antara piringan rem dan kampas rem akan disesuaikan secara otomatis oleh penutup piston (karet) jadi tidak perlu di setel dengan tangan. Pada saat pedal rem di lepas maka piston akan kembali ke posisi semula sebelum ditekan karena karet akan kembali ke bentuk semula seperti sebelum pedal rem ditekan.

Kaliper rem cakram memiliki tipe-tipe sebagai berikut:



Gambar 2.3 *Sliding dan Fixed Caliper* [4]

1. Fixed Type (Double Piston)

Sebuah tipe *fixed caliper* mempunyai sepasang piston untuk mendorong rotor rem cakram pada kedua sisinya.

2. Tipe Floating Caliper

Sebuah tipe *floating caliper* tertempel pada piston hanya pada satu sisi dari *caliper*. Piston berperan sebagai pembuat tekanan hidrolis, dan apabila bantalan rem cakram ditekan, *caliper* akan bergerak ke arah yang berbeda dari piston, dan mendorong rotor rem cakram dari kedua sisinya. Akibatnya, *caliper* akan menghentikan perputaran roda. Ada beberapa jenis *floating caliper*, tergantung dari metode menempelkan *caliper* ke piringan putar. Jenis yang pertama adalah *full floating caliper*. Dan yang kedua adalah *semi floating caliper*.

2.2.2 Berdasarkan Tempatnya

Berdasarkan tempatnya, rem dibagi menjadi rem roda dan rem propeller atau rem poros.

2.2.2.1 Rem Roda

Rem roda merupakan rem yang di tempatkan pada roda belakang maupun roda depan yaitu proses pengereman (penghentian atau pengurangan kecepatan) dilakukan dengan menahan roda agar tidak berputar. Berdasarkan tempatnya, pada rem roda ini baik rem tromol maupun rem cakram bisa di pasang pada rem roda ini. Pada rem tromol, daya pengereman diperoleh dari sepatu rem yang menekan dinding tromol bagian dalam yg berputar bersama-sama dengan roda. Sedangkan pada rem cakram, daya pengereman diperoleh dari sepatu rem yang menekan Disc brake yang berputar mengikuti roda.

Umumnya rem roda depan dan belakang memiliki *braking force* dan dimensi yang berbeda.

2.2.2.2 Rem Propeller

Rem *propeller* merupakan proses pengereman yang dilakukan dengan menghambat poros penggerak kendaraan. Nama lain dari rem ini adalah Retarder, ada beberapa jenis retarder yaitu Hidrolik dan *Electromagnetic*. Rem jenis ini ditempatkan pada poros *propeller* atau poros penggerak roda. Rem ini sering digunakan pada kendaraan besar seperti Bus dan Truk untuk membantu *Engine Brake*.

2.2.3 Berdasarkan Layananya

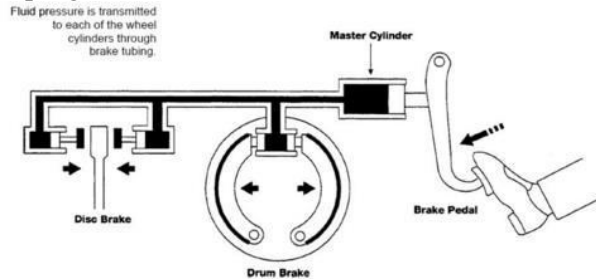
Berdasarkan layananya, rem dibedakan menjadi 2 yaitu *foot brake* dan *hand brake*.

2.2.3.1 Foot Brake

Rem kaki digunakan untuk mengontrol kecepatan dan menghentikan kendaraan dengan cara memijak atau menginjaknya.

Rem kaki (*foot brake*) dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu rem hidraulis (*hydraulic brake*) dan rem pneumatis (*pneumatic brake*).

Rem hidraulis mempunyai keuntungan lebih respon (lebih cepat) dan konstruksi lebih sederhana, sedangkan rem pneumatis menggunakan kompresor yang menghasilkan udara bertekanan untuk menambah daya pengereman.



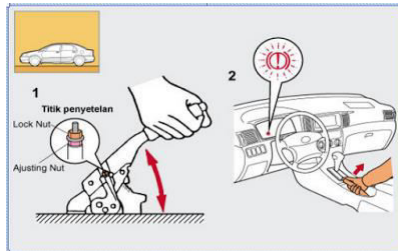
Gambar 2.5 Rem Kaki [5]

2.2.2.2 Hand Brake

Rem tangan adalah sebuah sistem pengereman pada kendaraan bermotor, khususnya kendaraan roda empat maupun lebih. Rem Parkir umumnya berfungsi untuk menahan mobil bergerak dalam posisi kemiringan jalan yang miring, terutama dalam keadaan menanjak maupun menurun. Fungsi rem parkir ini dapat digunakan sebagai pengganti rem utama jika mobil dalam kondisi berhenti yang cukup lama, semisal dalam kondisi kemacetan atau saat parkir. Setiap mobil, truk, maupun bus, dilengkapi dengan rem parkir dengan tuas dan cara kerja yang bervariasi, bergantung pada model mobil dan juga bobot kendaraan.

Meskipun rem tangan digunakan pada saat mobil berhenti, akan tetapi durasi penggunaan rem ini juga harus kita perhatikan. Pada mobil yang diparkir

cukup lama (beberapa hari) penggunaan rem tangan ini tidak direkomendasikan karena dapat merusak *disk brake* terutama untuk daerah yang memiliki kelembaban tinggi atau mobil habis melewati genangan air yang dapat menimbulkan kerak pada cakram maupun tromol mobil. Menggunakan rem tangan direkomendasikan pada durasi antara 5 menit sampai 1 hari, lebih dari satu hari lebih baik mobil diganjal dengan kayu misalnya saat ditinggal pergi ke luar kota.



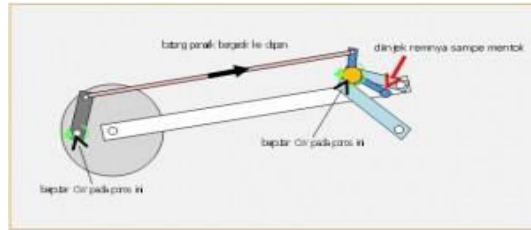
Gambar 2.6 *Hand Brake* atau Rem Tangan [5]

2.2.4 Berdasarkan Mekanisme Penggerakannya

Berdasarkan mekanisme penggerakannya dan penyalur daya, rem dibagi menjadi:

2.2.4.1 Rem Mekanis

Sistem rem mekanik ini merupakan sistem rem yang paling sederhana dan tidak terlalu banyak memakai komponen. Sistem Rem ini umumnya digunakan untuk kendaraan kecil seperti sepeda. Komponen terpenting dalam sistem rem jenis mekanik ini yaitu sepatu rem, tuas dan kawat/seling.



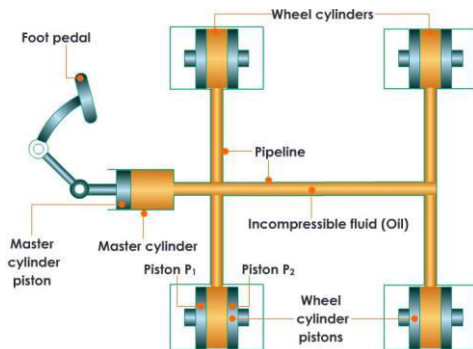
Gambar 2.7 Sistem Rem Mekanik [5]

Sistem rem mekanik lebih mudah dalam perawatan dan perbaikan karena konstruksi yang sederhana. Gerakan dorong dari tuas akan diteruskan ke sepatu rem dengan menggunakan kawat/seling, semakin kuat/panjang tuas bergerak maka semakin kuat sepatu rem menekan tromol atau lintasan.

2.2.4.2 Rem Hidraulik

Sistem rem hidraulik merupakan sistem rem yang menggunakan media fluida cair sebagai media penghantar/ penyalur gaya. Sistem rem hidrolik ini sangat rumit dan perlu perawatan yang berkala karena komponen-komponen rawan terhadap kerusakan, apabila terjadi kerusakan/ kebocoran pada selang atau sambungan-sambungan penyalur fluida maka akan mengganggu siklus aliran atau kerja dari sistem rem hidrolik.

Komponen terpenting dalam sistem rem hidrolik yaitu sepatu rem, master cylinder, actuator cylinder, dan tuas. Sistem rem hidrolik ini bekerja yaitu apabila tuas pedal rem diinjak maka tuas akan meneruskan gerakan ke master cylinder, didalam master cylinder terjadi perubahan dari energi kinetik menjadi tekanan pada minyak rem yang kemudian diteruskan menuju *actuator/ Caliper cylinder* melewati selang/pipa-pipa tekanan tinggi.

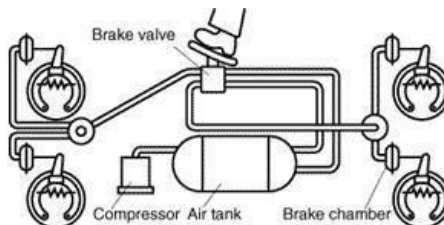


Gambar 2.8 Sistem Rem Hidrolik [5]

Setelah tekanan sampai di *Caliper cylinder* kemudian gaya tekan dirubah kembali menjadi gerakan/kinetik oleh *Caliper cylinder* untuk menggerakkan sepatu rem untuk menekan tromol/ disc supaya terjadi proses pengereman.

2.2.4.3 Rem angin

Full air brake (FAB) atau sering di sebut sistem rem Angin adalah sistem pengereman yang memanfaatkan tekanan udara untuk menekan sepatu rem. Di sini pedal rem berperan hanya membuka dan menutup katup rem (*Brake valve*). dan mengatur aliran udara bertekanan yang keluar dari tangki udara (*Air Tank*).

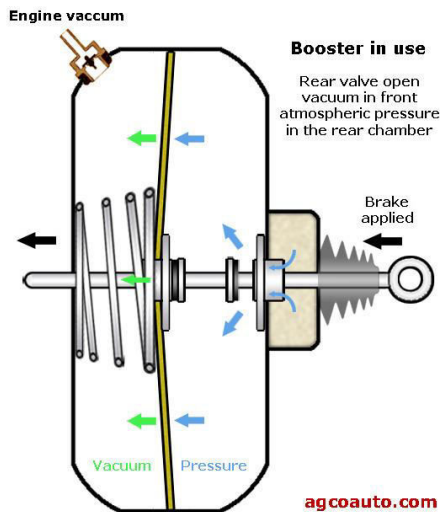


Gambar 2.9 Sistem Rem Angin [5]

Rem angin ini memiliki beberapa komponen untuk mendukung kerja dari suatu komponen lainnya, yaitu *air tank*, *air kompresor*, *brake valve*, *relay valve*, *brake cember*, *cam shaft*, *air dryer*, *regulator*.

2.2.4.4 Brake booster

Brake booster adalah alat yang memakai perbedaan antara *engine vacum* dan tekanan atmosfer untuk menghasilkan tenaga pendorong bantuan yang proporsional untuk tenaga penekan pedal dalam mengoperasikan rem. Maksud dari tenaga pendorong bantuan adalah untuk meringankan gaya yang diaplikasikan oleh kaki pengemudi saat mengerem, sehingga rem terasa ringan ketika ditekan.



Gambar 2.10 Cara kerja Booster Rem [6]

Brake booster menggunakan vacuum yang dihasilkan pada beragam intake mesin. (pompa vacuum pada kasus mesin diesel karena menggunakan

turbocharger atau *supercharger*, tekanan intake sama dengan atmosfer).

Booster rem dapat dipasang menjadi satu dengan master silinder (tipe integral) atau dapat juga dipasangkan secara terpisah dari master silinder itu sendiri. Tipe integral ini banyak digunakan pada kendaraan penumpang dan truk kecil.

Booster rem mempunyai diaphragm (membran) yang bekerja dengan adanya perbedaan tekanan antara tekanan atmosfer dan kevakuman yang dihasilkan dalam intake manifold. Master silinder dihubungkan dengan pedal dan membran untuk memperoleh daya pengereman yang besar dari langkah pedal yang minimum.

Untuk kendaraan berjenis diesel, booster remnya diganti dengan pompa vakum karena kevakuman yang terjadi pada intake manifold pada mesin diesel tidak cukup kuat.

Booster body dibagi menjadi bagian depan (ruang tekanan tetap/*constant pressure chamber*) dan bagian belakang (ruang tekanan variasi/ *variable pressure chamber*), dan masing-masing ruang dibatasi dengan membran dan piston booster.

Mekanisme katup pengontrol (*Control valve mekanisme*) berfungsi untuk mengatur tekanan didalam ruang tekan variasi. Termasuk katup udara (*air valve*), katup vakum (*vacuum valve*). katup pengontrol dan sebagainya yang berhubungan dengan pedal rem melalui batang penggerak katup (*valve operating rod*).

2.3 Spesifikasi Mobil Nogogeni 3 Evo

Berikut ini adalah data spesifikasi mobil Nogogeni 3 Evo yang digunakan dalam perhitungan

1. Panjang kendaraan (p) : 2500 mm

| | |
|--|-------------------------------------|
| 2. Lebar kendaraan (l) | : 1230 mm |
| 3. Tinggi kendaraan(t) | : 1100 mm |
| 4. Berat kosong (w) | : 100 kg |
| 5. Jarak pedal ke poros pedal(a) | : 150 mm |
| 6. Jarak push-rod ke poros pedal (b) | : 50 mm |
| 7. Diameter piston master silinder | : 15.875 mm |
| 8. Diameter piston Kaliper | : 32.5 mm |
| 9. Diameter disc brake | : 220 mm |
| 10. Koefisien gesek Kampas rem (μ_K) | : 0.35 |
| 11. Kecepatan awal (V_0) | : 13.8 m/s |
| 12. Rolling resistance Coefficient [7] | : 0.015 |
| 13. Koefisien drag (C_d) | : 0.34115342 |
| 14. Frontal area (A_F) [8] | : 1.009699 m^2 |
| 15. Luas permukaan kampas rem | : $5.77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ |
| 16. Masa jenis udara ($T = 30^\circ \text{C}$) | : 1.17 kg/m^3 |

Spesifikasi tersebut harus sesuai dengan regulasi teknis pada Shell eco marathon asia 2017 [9] selain itu, diharapkan mampu untuk melakukan scutinerring pada ajang Drivers World Championship [10]

2.4 Sistem Pengereman Pada Nogogeni 3 Evo

Sistem pengereman pada mobil Nogogeni 3 Evo menggunakan *disc brake* (rem cakram) dengan *Hydraulic floating caliper* yang terpasang pada setiap roda komponennya secara hidrolis. Rem cakram dioperasikan secara mekanis dengan menekan pedal untuk menekan *Master Cylinder* dan menghasilkan tekanan hidrolis yang menekan *brake pads*. Pada rem cakram, putaran roda dikurangi atau dihentikan dengan cara penjepitan cakram oleh dua buah sepatu rem (*brake pad*). Rem cakram mempunyai sebuah plat disc yang terbuat dari *stainless steel* (baja) yang akan berputar bersamaan dengan roda.

Saat rem digunakan, *Disc* tersebut tercekam dengan gaya tekan piston kaliper yang bekerja secara hidrolis. *hydraulic brake* dengan *disc* mempunyai pendinginan yang baik karena berputar dan bergesekan dengan udara, hal ini akan menghasilkan

pengereman yang tetap baik walaupun dipakai secara berulang-ulang pada kecepatan tinggi.

2.4.1 Komponen Utama Disc brake

Komponen utama dari sistem pengereman disc brake adalah sebagai berikut:

2.4.1.1 Caliper

Caliper pada *disc brake* di klasifikasikan kedalam tipe *fixed caliper (opposite piston disc brake)* dan *floating caliper*. *Fixed caliper* menghasilkan gaya pengereman ketika silinder pada tiap sisi *caliper* menekan *brake pads* ke *disc*. Sedangkan *floating caliper* menghasilkan gaya pengereman ketika seluruh bagian *caliper* bergerak karena silinder terpasang hanya pada satu sisi saja.

2.4.1.2 Brake Pads

Pad (*disc pad*) biasa terbuat dari campuran *metallic fiber* dan sedikit serbuk besi. Tipe ini disebut dengan “*semi metallic disc pad*” pada pad diberi gasi celah untuk menunjukkan tebal pad (batas yang diizinkan), dengan demikian dapat mempermudah pengecekan keausan pad. Pada beberapa pad, penggunaan *metallic plate* (disebut dengan *anti-squel shim*) dipasangkan pada sisi piston dari pad untuk mencegah bunyi saat berlaku pengereman.

2.4.1.3 Disc / Rotor / Cakram

Rotor (piringan) menyediakan permukaan untuk bergesekan antara pad dan rotor. Secara umum terdiri dari dua tipe yakni solid rotor dan *ventilated rotor* (berlubang). Untuk mobil yang mempunyai beban ringan atau berukuran kecil menggunakan solid rotor, sedangkan *ventilated rotor* digunakan untuk

kendaraan kecepatan tinggi, mempunyai masa besar dan menghasilkan panas tinggi saat pengereman.

2.4.2 Cara kerja *Hydraulic Disc Brake*

Pada tipe rem hidraulik ini gerakan pedal rem akan menjadi gerak pada *Brake Pads*, maka digunakanlah minyak rem. Ketika pedal rem ditekan, piston didalam silinder akan terdorong dan menekan minyak rem keluar silinder. Melalui selang rem, tekanan ini diteruskan oleh minyak rem untuk mendorong piston yang berada didalam *Caliper Cylinder*. Akibatnya piston pada *caliper* mendorong pad untuk menjepit cakram, sehingga terjadi aksi pengereman.

Saat tangkai rem atau pedal digerakkan, master silinder mengubah gaya yang digunakan kedalam tekanan cairan. Master silinder ini terdiri dari sebuah reservoir yang berisi cairan minyak rem dan sebuah silinder yang mana tekanan cairan rem diperoleh. Reservoir biasanya dibuat dari plastik atau besi tuang atau *aluminium alloy* dan tergabung dengan silinder. Ujung dari pada master silinder dipasang tutup karet untuk memberikan seal yang baik dengan silindernya, dan juga diberikan tutup karet untuk mencegah kebocoran cairan.

Saat master rem ditekan, piston bergerak maju, tekanan cairan dalam master silinder meningkat dan cairan akan memaksa lewat selang rem (*brake hose*) dan menekan *Caliper piston*. Saat pedal rem dilepaskan/dibebaskan, piston tertekan kembali oleh *return spring* yang ada pada *master cylinder*.

Adapun keuntungan dari menggunakan rem cakram (*disc brake*) adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan pendinginan yang baik karena panas *disc* yang timbul diserap oleh udara sekitar.
- b. Menghasilkan performa pengereman yang stabil.

- c. Jika rem basah, maka air tersebut akan cepat dipercikkan keluar dari area *disc brake* dengan gaya sentrifugal.
- d. Mudah dalam pemeriksaan dan perawatan.

2.5 Rem Hidraulik

Sistem rem hidraulik adalah sistem rem yang mekanisme pemindahan gaya dari kaki pengemudi menggunakan media fluida (cairan/minyak). Pada rem hidrolik, pengoperasiannya dilakukan pada pedal rem yang memberi gaya tekan pada hidraulik unit (master silinder). Kemudian, tekanan hidraulik dihasilkan dengan berpedoman pada prinsip hukum pascal untuk pengereman. Ketika gaya pengereman dikirimkan ke setiap roda sama, maka gaya pengereman pada setiap roda pun akan sama dan sistem akan bekerja dengan baik walaupun hanya dengan sedikit usaha. Fungsi pengereman akan benar-benar hilang ketika sistem hidrauliknya rusak atau mengalami kebocoran.

Rem hidraulik merupakan suatu konstruksi dari sistem pengereman modern yang menggunakan cairan untuk membantu sistem pengereman. Cairan dari rem hidraulik atau yang kita kenal sebagai *brake fluid* atau cairan rem akan ditempatkan pada suatu wadah. Ketika kita menekan tuas rem, maka master rem akan mendorong cairan rem tersebut, kemudian cairan rem yang bertekanan akan mengalir ke kaliper rem melalui selang rem.

Kemudian ketika cairan sudah berada pada kaliper, maka cairan tersebut akan mendorong piston pada kaliper rem, yang akan membuat kampas rem pada kaliper akan terdorong dan bergesekan dengan piringan cakram pada roda suatu kendaraan. Sistem inilah yang saat ini sudah banyak dan juga umum digunakan pada berbagai jenis kendaraan, terutama kendaraan bermotor.

2.5.1 Komponen Utama Sistem Rem Hidraulik

Komponen utama dalam sistem pengereman hidraulik antara lain:

2.5.1.1 Master silinder

Master silinder berfungsi untuk merubah gaya tekan kaki pada pedal rem menjadi tekanan hidrolis. Master silinder terdiri dari reservoir cairan rem, piston, seal ring, dan master silinder body.

2.5.1.2 Kaliper Rem

Kaliper merupakan komponen rem yang berfungsi untuk menjepit cakram untuk menghasilkan pengereman, terdapat dua jenis kaliper yaitu *floating caliper* dan *sliding caliper*. *Fixed caliper* menghasilkan gaya pengereman ketika silinder pada tiap sisi *caliper* menekan *brake pads* ke *disc*. Sedangkan *floating caliper* menghasilkan gaya pengereman ketika seluruh bagian *caliper* bergerak karena silinder terpasang hanya pada satu sisi saja.

2.5.1.3 Brake Hose

Brake hose atau selang rem merupakan penyalur cairan rem bertekanan tinggi dari master silinder menuju kaliper. Terdapat beberapa macam selang rem yang dapat digunakan untuk tekanan tertentu.

2.5.1.4 Piringan Cakram atau Disc Rotor

Rotor (piringan) menyediakan permukaan untuk bergesekan antara pad dan rotor. Secara umum terdiri dari dua tipe yakni solid rotor dan vented rotor (berlubang). Untuk mobil yang mempunyai beban ringan atau berukuran kecil menggunakan solid rotor, sedangkan vented rotor digunakan untuk kendaraan lebih berat dan menghasilkan panas tinggi saat pengereman.

2.5.1.5 Kampas rem

Kampas rem atau sepatu rem merupakan komponen yang bergesekan langsung dengan disc atau cakram, kampas rem harus dicek secara berkala agar

rem dapat digunakan dengan baik. Kampas rem atau *brake pad* biasa terbuat dari campuran *metallic fiber* dan sedikit serbuk besi. Tipe ini disebut dengan “*semi metallic brake pad*” pada pad diberi gasi celah untuk menunjukkan tebal pad (batas yang diizinkan), dengan demikian dapat mempermudah pengecekan keausan pad. Pada beberapa pad, penggunaan *metallic plate* (disebut dengan *anti-squel shim*) dipasangkan pada sisi piston dari pad untuk mencegah bunyi saat berlaku pengereman.

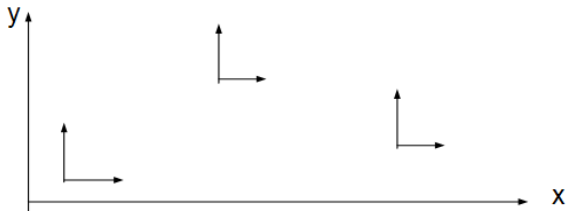
2.5.2 Sistem Kerja Rem Hidraulik

Kata hidraulik berasal dari bahasa Yunani “Hydor” yang berarti air, ini terdiri dari semua benda atau zat dalam hubungannya dengan air. Fluida dipakai untuk memindahkan energi oli mineral secara umum banyak dipakai pada sistem ini, walau demikian minyak-minyak sintetis, air, atau emulsi air dan oli pada prinsipnya dapat juga dipakai, hanya dalam berbagai hal mempunyai keterbatasan-keterbatasan yang sangat berarti. Prinsip dasar kerja sistem hidraulik, fluida cair berfungsi sebagai penerus gaya. Minyak mineral adalah jenis fluida cair yang umum dipakai.

2.6 Kinematika

Kinematika adalah bagian dari mekanika yang mempelajari tentang gerak tanpa memperhatikan apa atau siapa yang menggerakkan benda tersebut. Bila gaya penggerak ikut diperhatikan maka apa yang dipelajari merupakan bagian dari dinamika.

Gerak disebut gerak translasi bila selama bergerak sumbu kerangka acuan yang melekat pada benda (x', y', z') selalu sejajar dengan kerangka acuannya sendiri (x, y, z).

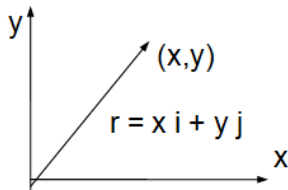


Gambar 2.11 Gerak Translasi [11]

2.6.1 Pergeseran, Kecepatan dan Percepatan

2.6.1.1 Pergeseran

Posisi dari suatu partikel di dalam suatu sistem koordinat dapat dinyatakan dengan vektor posisi $\mathbf{r} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j}$.

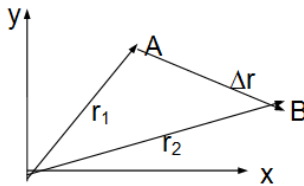


Gambar 2.12 Perpindahan Partikel [11]

Partikel bergerak dari posisi pertama \mathbf{r}_1 ke posisi kedua \mathbf{r}_2 melalui lintasan sembarang (tidak harus lurus). Pergeseran merupakan suatu vektor yang menyatakan perpindahan partikel dari posisi pertama ke posisi kedua melalui garis lurus.

Pergeseran didefinisikan :

$$\Delta r = r_2 - r_1$$



Gambar 2.13 Perpindahan partikel 2 Posisi [11]

2.6.1.2 Kecepatan

Kecepatan didefinisikan sebagai partikel bergerak dengan suatu lintasan tertentu. Pada saat t_1 partikel pada posisi r_1 dan pada t_2 partikel pada posisi r_2 . Kecepatan adalah perpindahan partikel per satuan waktu.

a. Kecepatan rata-rata

$$V_{rata-rata} = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1}$$

b. Kecepatan sesaat

Bila selang waktu pengukuran Δt mendekati harga nol maka diperoleh kecepatan sesaat.

$$V_s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$V_s = \frac{dr}{dt} \Delta$$

Dalam 2 dimensi r dapat dinyatakan sebagai $r = x \mathbf{i} + y \mathbf{j}$ maka diperoleh kecepatan

$$V = \frac{dr}{dt}$$

$$V = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j$$

$$= V_x i + V_y j$$

Dalam 1 dimensi dimana gerak dari partikel hanya dalam satu arah saja (misalkan dalam arah sumbu x) maka $v_y = 0$. Maka percepatan partikel dalam 1 dimensi (sumbu x) adalah:

$$V = V_x i$$

2.6.1.3 Percepatan

Selama pergeseran tersebut kecepatan partikel dapat mengalami perubahan. Perubahan kecepatan per satuan waktu disebut percepatan.

a. Percepatan rata-rata

Percepatan rata-rata adalah perubahan kecepatan dalam selang waktu Δt .

$$a_r = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

b. Percepatan sesaat

Bila selang waktu Δt mendekati nol maka diperoleh harga sesaat dari percepatan.

$$a_s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a_s = \frac{dv}{dt}$$

Dalam 2 dimensi, v dapat dinyatakan sebagai $v = v_x i + v_y j$ maka diperoleh percepatan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{dv}{dt} \\
 &= \frac{dv_x}{dt} i + \frac{dv_y}{dt} j \\
 &= a_x i + a_y j
 \end{aligned}$$

Dalam 1 dimensi dimana gerak dari partikel hanya dalam satu arah saja (misalkan dalam arah sumbu x) maka $a_y = 0$.

Maka percepatan partikel dalam 1 dimensi (sumbu x) adalah

$$a = a_x i$$

Apabila partikel bergerak dengan percepatan konstan, maka $a_r = a_s = a$.

2.6.2 Gerak Dalam Satu Dimensi dengan Percepatan Konstan

2.6.2.1 Gerak dalam Arah Sumbu x.

Gerak satu dimensi berarti partikel bergerak dalam satu arah saja, misalkan dalam arah sumbu x.

$$\begin{aligned}
 \text{pergeseran} &: r = x i \\
 \text{kecepatan} &: v = v_x i \\
 \text{percepatan} &: a = a_x i
 \end{aligned}$$

Karena arah gerak sudah ditentukan maka dalam perumusan tentang gerak partikel hanya menyangkut tentang besarnya saja.

a. Percepatan konstan : $a_r = a_s = a$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \\
 a &= \frac{v_x - v_o}{t}
 \end{aligned}$$

Diperoleh persamaan $v_x = v_1 + a_t$

a_t menyatakan pertambahan kecepatan pada selang waktu tersebut.

- b. Percepatan konstan = perubahan v konstan.

Dari statistik dapat diperoleh $v_r = \frac{(v_o + v)}{2}$

Bila v_r menyatakan pertambahan posisi dalam selang waktu t , maka posisi partikel menjadi

$$x = x_o + v_r t$$

Dengan mensubstitusikan $v_r = \frac{(v_o + v)}{2}$ diperoleh

$$x = x_o + \frac{1}{2} \times (v_o + v) t$$

Bila persamaan (2.1) disubstitusikan ke (2.2) diperoleh:

$$x = x_o + \frac{1}{2} \times (v_o + v_o + a_t) t$$

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2} \times$$

$$a_t^2 \dots \dots \dots (2.3)$$

dan bila $t = \frac{(v_x + v_o)}{a}$ yang disubstitusikan diperoleh

$$x = x_o + \frac{1}{2} (v_o + v_x) t$$

$$x = x_o + \frac{\frac{1}{2} (v_o + v_x) (v_o - v_x)}{a}$$

$$v_x^2 = v_o^2 + 2 a (x - x_o) \dots \dots \dots (2.4)$$

2.7 Hukum Newton Tentang Gerak

2.7.1 Gerak dan Gaya

Gaya merupakan suatu tarikan atau dorongan yang dapat menimbulkan perubahan gerak. Dengan demikian jika benda ditarik/didorong dan sebagainya maka pada benda bekerja gaya dan keadaan gerak benda dapat dirubah. Gaya adalah penyebab gerak. Gaya termasuk besaran vektor, karena gaya ditentukan oleh besar dan arahnya.

2.7.2 Hukum I Newton

Jika resultan dari gaya-gaya yang bekerja pada sebuah benda sama dengan nol ($F = 0$), maka benda tersebut :

- Jika dalam keadaan diam akan tetap diam, atau
- Jika dalam keadaan bergerak lurus beraturan akan tetap bergerak lurus beraturan.

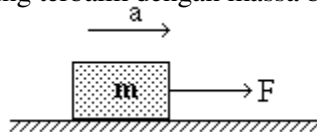
Keadaan tersebut di atas disebut juga Hukum Kelembaman.

Kesimpulan : $F = 0$ dan $a = 0$

Karena benda bergerak translasi, maka pada sistem koordinat Cartesius dapat dituliskan $\sum F_x = 0$ dan $\sum F_y = 0$.

2.7.3 Hukum II Newton

Percepatan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dan searah dengan gaya itu dan berbanding terbalik dengan massa benda.



Gambar 2.14 Cara Kerja Hukum II Newton [11]

$$a \propto \frac{F}{m}$$

$$F \propto m \cdot a$$

$$F \propto k \cdot m \cdot a$$

dalam SI konstanta $k = 1$ maka : $F = m \cdot a$

Tabel 2.1 Besaran Turunan dan satuannya

Satuan:

| BESARAN | NOTASI | MKS | CGS |
|------------|--------|--------------------|---------------------|
| Gaya | F | Newton (N) | Dyne |
| Massa | m | Kg | Gram |
| Percepatan | a | m/det ² | cm/det ² |

1. Massa Dan Berat

Berat suatu benda (w) adalah besarnya gaya tarik bumi terhadap benda tersebut dan arahnya menuju pusat bumi, (vertikal ke bawah).

Hubungan massa dan berat :

$$w = m \cdot g$$

w = gaya berat.

m = massa benda.

g = percepatan gravitasi.

Tabel 2.2 Besaran dan satuan

Satuan :

| BESARAN | NOTASI | MKS | CGS |
|------------|--------|--------------------|---------------------|
| Gaya berat | W | Newton (N) | Dyne |
| Massa | M | Kg | Gram |
| Gravitasi | G | m/det ² | cm/det ² |

Perbedaan massa dan berat :

- Massa (m) merupakan besaran skalar di mana besarnya di sembarang tempat untuk suatu benda yang sama selalu tetap.

- Berat (w) merupakan besaran vektor di mana besarnya tergantung pada tempatnya (percepatan gravitasi pada tempat benda berada).

Hubungan antara satuan yang dipakai :

$$1 \text{ newton} = 1 \text{ kg.m/det}^2$$

$$1 \text{ dyne} = 1 \text{ gr.cm/det}^2$$

$$1 \text{ newton} = 105 \text{ dyne}$$

$$1 \text{ kgf} = g \text{ newton} (g = 9,8 \text{ m/det}^2 \text{ atau } 10 \text{ m/det}^2)$$

$$1 \text{ gf} = g \text{ dyne} (g = 980 \text{ cm/det}^2 \text{ atau } 1000 \text{ cm/det}^2)$$

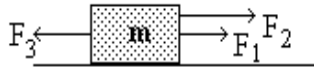
$$1 \text{ smsb} = 10 \text{ smsk}$$

$$\text{smsb} = \text{satuan massa statis besar.}$$

$$\text{smsk} = \text{satuan massa statis kecil.}$$

Pengembangan :

- Jika pada benda bekerja banyak gaya yang horizontal maka berlaku :



Gambar 2.15 Resultan Gaya pada hk. Newton II(1) [11]

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F_1 + F_2 + F_3 = m \cdot a$$

Arah gerak benda sama dengan F_1 dan F_2 jika $F_1 + F_2 > F_3$

Arah gerak benda sama dengan F_3 jika $F_1 + F_2 < F_3$ (tanda $a = -$)

- Jika pada beberapa benda bekerja banyak gaya yang horisontal maka berlaku :

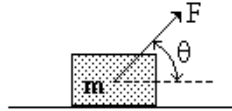


Gambar 2.16 Resultan Gaya pada hk. Newton II(2) [11]

$$\sum F = \sum m \cdot a$$

$$F_1 + F_2 + F_3 = (m_1 + m_2) \cdot a$$

- c. Jika pada benda bekerja gaya yang membentuk sudut θ dengan arah mendatar maka berlaku :



Gambar 2.17 Resultan Gaya pada hk. Newton II(3) [11]

Maka gaya yang diperlukan adalah:

$$F \cos \theta = m \cdot a$$

2.7.4 Hukum III Newton

Bila sebuah benda A melakukan gaya pada benda B, maka benda juga akan melakukan gaya pada benda A yang besarnya sama tetapi berlawanan arah.

Gaya yang dilakukan A pada B disebut : *gaya aksi*.

Gaya yang dilakukan B pada A disebut : *gaya reaksi*.

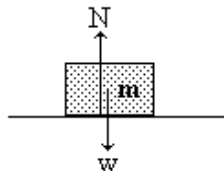
maka ditulis :

$$F_{\text{aksi}} = - F_{\text{reaksi}}$$

Hukum Newton III disebut juga Hukum Aksi - Reaksi.

1. Pasangan Aksi Reaksi

Pada sebuah benda yang diam di atas lantai berlaku :



Gambar 2.18 Pasangan Aksi Reaksi [11]

$$w = - N$$

Dimana:

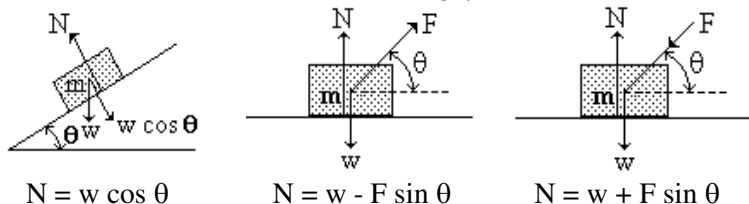
w = gaya berat benda memberikan gaya aksi pada lantai.

N = gaya normal (gaya yang tegak lurus permukaan tempat di mana benda berada).

Hal ini bukan pasangan Aksi - Reaksi.

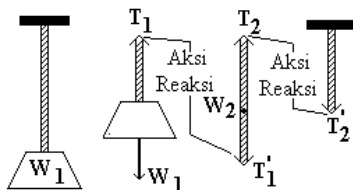
(tanda (-) hanya menjelaskan arah berlawanan)

Macam - macam keadaan (besar) gaya normal.



Gambar 2.19 Macam-macam keadaan gaya Normal [11]

1. Pasangan aksi - reaksi pada benda yang digantung
Balok digantung dalam keadaan diam pada tali vertikal. Gaya w_1 dan T_1 bukanlah pasangan aksi - reaksi, meskipun besarnya sama, berlawanan arah dan segaris kerja.

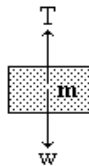


Gambar 2.20 Gambar gaya aksi-reaksi [11]

Sedangkan yang merupakan pasangan aksi - reaksi adalah gaya T_2 dan T'_2 .

2. Hubungan Tegangan Tali terhadap Percepatan

- a. Bila benda dalam keadaan diam, atau dalam keadaan bergerak lurus beraturan maka :

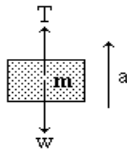


$$T = m \cdot g$$

$T = \text{gaya tegangan tali.}$

Gambar 2.21 Hubungan tegangan tali terhadap Percepatan (1)

- b. Benda bergerak ke atas dengan percepatan a maka :

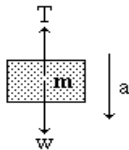


$$T = m \cdot g + m \cdot a$$

$T = \text{gaya tegangan tali.}$

Gambar 2.22 Hubungan tegangan tali terhadap Percepatan (2)

- c. Benda bergerak ke bawah dengan percepatan a maka :



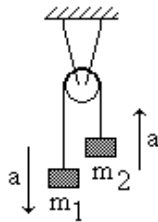
$$T = m \cdot g - m \cdot a$$

$T = \text{gaya tegangan tali.}$

Gambar 2.23 Hubungan tegangan tali terhadap Percepatan (3)

2.7.5 Gerak Benda yang Dihubungkan dengan Katrol

Dua buah benda m_1 dan m_2 dihubungkan dengan katrol melalui sebuah tali yang diikatkan pada ujung-ujungnya. Apabila massa tali diabaikan, dan tali dengan katrol tidak ada gaya gesekan, maka akan berlaku persamaan-persamaan :



Tinjauan benda m_1

$$T = m_1 \cdot g - m_1 \cdot a$$

Tinjauan benda m_2

$$T = m_2 \cdot g + m_2 \cdot a$$

Gambar 2.24 Gerak benda yang dihubungkan katrol (1)

Sistem akan bergerak ke arah m_1 dengan percepatan a . Karena gaya tegangan tali di mana-mana sama, maka persamaan 1 dan persamaan 2 dapat digabungkan :

$$m_1 \cdot g - m_1 \cdot a = m_2 \cdot g + m_2 \cdot a$$

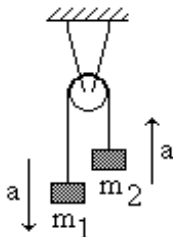
$$m_1 \cdot a + m_2 \cdot a = m_1 \cdot g - m_2 \cdot g$$

$$(m_1 + m_2) \cdot a = (m_1 - m_2) \cdot g$$

$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g$$

Persamaan ini digunakan untuk mencari percepatan benda yang dihubungkan dengan katrol.

Cara lain untuk mendapatkan percepatan benda pada sistem katrol dapat ditinjau keseluruhan sistem :



$$\Sigma F = \Sigma m \cdot a$$

$$w_1 - T + T - T + T - w_2 = (m_1 + m_2) \cdot a$$

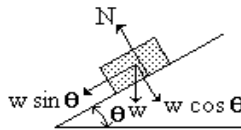
Gambar 2.25 Gerak benda yang dihubungkan katrol (2) [11]

Sistem akan bergerak ke arah m_1 dengan percepatan a . Oleh karena itu semua gaya yang terjadi yang searah dengan arah gerak sistem diberi tanda positif, yang berlawanan diberi tanda negatif.

Karena T di mana-mana besarnya sama maka T dapat dihilangkan.

$$\begin{aligned}w_1 - w_2 &= (m_1 + m_2) \cdot a \\(m_1 - m_2) \cdot g &= (m_1 + m_2) \cdot a \\a &= \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g\end{aligned}$$

2.7.6 Benda Bergerak pada Bidang Miring



Gambar 2.26 Benda Bergerak pada Bidang Miring [11]

2.7.6.1 Gaya Gesek (F_g)

Gaya gesekan antara permukaan benda yang bergerak dengan bidang tumpu benda akan menimbulkan gaya gesek yang arahnya senantiasa berlawanan dengan arah gerak benda.

Ada dua jenis gaya gesek yaitu :

- Gaya gesek statis (f_s) : bekerja pada saat benda diam (berhenti) dengan persamaan :

$$f_s = N \cdot \mu_s$$

- Gaya gesek kinetik (f_k) : bekerja pada saat benda bergerak dengan persamaan :

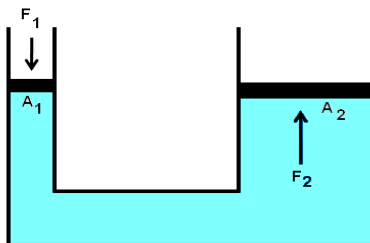
$$f_k = N \cdot \mu_k$$

Nilai $f_k < f_s$.

2.8 Hukum Pascal

Tak terbayangkan jika sistem rem pada mobil tidak menggunakan Hukum Pascal. Pengendara mobil akan memerlukan tenaga besar untuk menghentikan laju mobilnya. Akan tetapi, dengan menerapkan Hukum Pascal pada sistem rem mobil, pengemudi hanya perlu memberikan gaya kecil untuk mengurangi laju kendaraannya. Gaya ini berupa injakan kaki pada pedal rem. Gambar dibawah ini menunjukkan skema sistem rem pada mobil. Gaya diberikan pengemudi pada pedal rem. Gaya ini diteruskan oleh minyak melalui pipa sehingga memberikan gaya yang lebih besar pada rem yang terdapat di ban mobil. Dengan demikian, laju mobil dapat dikurangi.

Jika suatu fluida yang dilengkapi dengan sebuah penghisap yang dapat bergerak maka tekanan di suatu titik tertentu tidak hanya ditentukan oleh berat fluida di atas permukaan air tetapi juga oleh gaya yang dikerahkan oleh penghisap. Berikut ini adalah gambar fluida yang dilengkapi oleh dua penghisap dengan luas penampang berbeda. Penghisap pertama memiliki luas penampang yang kecil (diameter kecil) dan penghisap yang kedua memiliki luas penampang yang besar (diameter besar)



Gambar 2.27 Hukum Pascal [12]

Sesuai dengan hukum Pascal bahwa tekanan yang diberikan pada zat cair dalam ruang tertutup akan diteruskan sama besar ke

segala arah, maka tekanan yang masuk pada penghisap pertama sama dengan tekanan pada penghisap kedua.

Tekanan dalam fluida dapat dirumuskan dengan persamaan di bawah ini.

$$P = F : A$$

sehingga persamaan hukum Pascal bisa ditulis sebagai berikut.

$$P_1 = P_2$$

$$F_1 : A_1 = F_2 : A_2$$

dengan P = tekanan (pascal), F = gaya (newton), dan A = luas permukaan penampang (m^2).

Ada berbagai macam satuan tekanan. Satuan SI untuk tekanan adalah newton per meter persegi (N/m^2) yang dinamakan pascal (Pa). Satu pascal sama dengan satu newton per meter persegi. Dalam sistem satuan Amerika sehari-hari, tekanan biasanya diberikan dalam satuan pound per inci persegi (lb/in^2). Satuan tekanan lain yang biasa digunakan adalah atmosfer (atm) yang mendekati tekanan udara pada ketinggian laut. Satu atmosfer didefinisikan sebagai 101,325 kilopascal yang hampir sama dengan 14,70 lb/in^2 . Selain itu, masih ada beberapa satuan lain diantaranya cmHg, mmHg, dan milibar (mb).

$$1 \text{ mb} = 0.01 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} = 0,01 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 14,70 \text{ lb/in}^2$$

Untuk menghormati Torricelli, fisikawan Italia penemu barometer (alat pengukur tekanan), ditetapkan satuan dalam torr, dimana 1 torr = 1 mmHg.

2.9 Selang Hidraulik

Dalam sistem hidraulik, fluida mengalir melalui sistem distribusi yang terdiri dari konduktor dan alat kelengkapannya, yang membawa cairan dari reservoir melalui komponen operasi dan kembali ke reservoir. Karena daya ditransmisikan diseluruh sistem dengan cara ini dilakukan (konduktor dan perlengkapan

yang digunakan untuk menghubungkan komponen sistem), maka harus dirancang dengan baik agar semua sistem berfungsi dengan baik.

Selang Hidraulik dibagi menjadi 4, yaitu:

- Steel pipes
- Steel tubing
- Plastic tubing
- Flexible hoses

Pilihan jenis konduktor untuk digunakan terutama tergantung pada tekanan sistem operasi dan tingkat aliran, disamping itu seleksi tergantung pada kondisi jenis cairan, suhu operasi, getaran, dan ada tidaknya gerakan relatif antara komponen terhubung.

Pada umumnya, pipa baja memberikan fleksibilitas pipa yang lebih besar dan membutuhkan kelengkapan dari pipa. Namun pipa lebih murah dari pada pipa baja. Tubing plastic digunakan untuk peningkatan penggunaan industri karena tidak mahal dan sirkuit dapat dengan mudah terhubung karena fleksibel. Selang fleksibel digunakan terutama untuk menghubungkan komponen yang mengalami gerakan relatif, terbuat dari sebagian besar elastomer (seperti karet) senyawa dan mampu menangani tekanan sampai 12.000 psi.

Diharapkan Konduktor stainless steel dan perlengkapan yang digunakan jika sangat korosif. Namun sangat mahal dan harus digunakan hanya jika diperlukan. Konduktor tembaga tidak boleh digunakan dalam sistem hidraulik karena tembaga membawa oksidasi minyak petroleum. Zinc, magnesium, dan kamium konduktor tidak boleh digunakan, karena cepat terkorosi oleh cairan air glikol. Konduktor galvanis juga harus dihindari karena permukaan galvanis memiliki kecenderungan untuk mengelupas kedalam cairan hidraulik. Saat menggunakan pipa baja, perlengkapan hidraulik harus terbuat dari baja kecuali untuk inlet, dimana besi lunak dapat digunakan.

Konduktor dan alat kelengkapannya harus dirancang dengan keselamatan manusia. Tidak hanya cukup menahan tekanan tetapi

juga harus mampu menahan tekanan seketika akibat kejut hidraulik yang kuat. Setiap kali katup kontrol tiba-tiba tertutup maka cairan mengalir dengan cepat dan memiliki tekanan besar energi kinetik. Ini menghasilkan gelombang kejut yang tingkat tekanan bisa sampai empat kali nilai sistem. Penghentian tiba-tiba aktuator dan percepatan berat juga menyebabkan lonjakan tekanan. Tekanan yang tinggi ini diperhitungkan sesuai keselamatan.

1. Ukuran konduktor untuk kebutuhan aliran rate

Konduktor harus memiliki luas penampang cukup besar untuk menangani kebutuhan aliran-rate tanpa menghasilkan kecepatan fluida yang berlebihan. setiap kali kita berbicara tentang kecepatan fluida dalam suatu konduktor, kita mengacu pada kecepatan rata-rata sejak kecepatan yang sebenarnya tidak konstan selama penampang pipa. kecepatan adalah nol pada dinding pipa (partikel cairan melekat permukaan pengontakan karena viskositas) dan mencapai nilai maksimum pada garis tengah pipa. kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai laju aliran volume dibagi dengan pipa luas penampang.

$$v = v_{avg} = \frac{Q}{A}$$

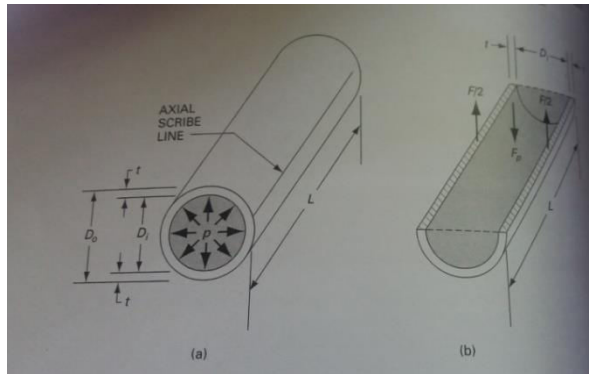
dengan kata lain, kecepatan rata-rata adalah kecepatan yang bila dikalikan dengan daerah pipa sama dengan laju aliran volume, itu juga dipahami bahwa diameter dengan sendirinya selalu berarti diameter dalam dan bidang pipa adalah bahwa daerah yang sesuai dengan pipa diameter dalam. maksimum yang disarankan kecepatan untuk garis hisap pompa 4 ft/s (1,2 m/s) untuk mencegah tekanan hisap terlalu rendah dan menghasilkan kavitasi pompa. Maksimum yang disarankan kecepatan untuk jalur pembuangan pompa

adalah 20 ft/s (6,1 m/s) untuk mencegah aliran turbulen dan kerugian yang berlebihan yang sesuai dan suhu cairan yang tinggi.

2. Tegangan tarik (tekanan konduktor)

Konduktor harus cukup kuat untuk mencegah ledakan karena tegangan tarik yang berlebihan (juga disebut tegangan melingkar) di dinding konduktor di bawah tekanan fluida operasi. Besarnya tegangan tarik ini, yang harus ditopang oleh bahan konduktor, dapat ditentukan dengan mengacu pada gambar. pada gambar (a), kita melihat tekanan fluida (p) bertindak normal terhadap permukaan dalam pipa melingkar yang memiliki panjang. Pipa memiliki diameter luar, diameter dalam, dan ketebalan dinding, karena tekanan fluida bertindak normal ke pipa di dalam permukaan, kekuatan tekanan dibuat yang mencoba untuk memisahkan satu setengah pipa dari setengah lainnya.

Gambar (b) menunjukkan kekuatan tekanan untuk mendorong ke bawah pada bagian bawah pipa. untuk mencegah bagian bawah pipa memisahkan dari bagian atas, bagian atas menarik ke atas dengan total gaya tarik. satu-setengah dari kekuatan ini ($f/2$) bekerja pada luas penampang (TL) dari masing-masing dinding, seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.21 Tegangan Tarik [5]

Karena tekanan kekuatan dan gaya tarik total harus sama besarnya, maka:

$$F = F_p = pA$$

Dimana A adalah luas proyeksi setengah pipa permukaan melengkung dinding rendah ke bidang horizontal. Dengan demikian, A sama dengan daerah dari rectangle lebar, dan panjang. Seperti ditunjukkan dalam gambar (b) karenanya:

$$F = pA = p(LD_i)$$

Tegangan tarik pada material pipa sama dengan gaya tarik dibagi dengan vinding luas penampang menahan gaya tarik, ini juga disebut tegangan tarik karena gaya (f) adalah gaya tarik (menarik didaerah dimana ia bertindak).

$$\text{tensile stress} = \frac{\text{force pulling on the pipe wall area}}{\text{pipe wall area over which force acts}}$$

Substitusi:

$$\sigma = \frac{F}{2_t L} = \frac{pA}{2_t L} = \frac{p(LD_i)}{2_t L} = \frac{pD_i}{2t}$$

Seperti dapat dilihat dari persamaan diatas, tegangan tarik meningkat dengan meningkatnya tekanan fluida dan juga sebagai pipa diameter meningkat. Selain itu, meningkat pula tegangan tarik sebagai ketebalan dinding menurun, dan mengukur tinggi pipa tidak memiliki efek pada tegangan tarik.

3. Burst Pressure and Working Pressure

Tekanan ledakan (BP) adalah tekanan fluida yang akan menyebabkan pipa meledak. Hal ini terjadi ketika tegangan tarik (σ) sama dengan kekuatan tarik (s) dari material pipa. Kekuatan tarik material sama dengan tegangan tarik dimana pecah material. Perhatikan bahwa garis aksial juru ditampilkan pada pipa permukaan dinding luar pada gambar (a). Menunjukkan dimana pipa akan mulai retak dan dengan demikian pecah jika tegangan tarik mencapai kekuatan tarik dari material pipa. Pecah ini akan terjadi ketika tekanan fluida (p) mencapai BP tekanan meledak. Dengan demikian, dari persamaan diatas tekanan burst adalah :

$$BP = \frac{2_t S}{D_i}$$

Tekanan fluida beroperasi maksimum dan didefinisikan sebagai tekanan meledak dibagi oleh faktor keselamatan.

$$WP = \frac{BP}{FS}$$

Faktor keamanan menjamin integritas konduktor dengan menentukan tingkat aman maksimum tekanan kerja. Standart industri merekomendasikan faktor keselamatan berdasarkan tekanan operasi yang sesuai.

FS = 8 for pressures from 0 to 1000 psi

FS = 6 for pressures from 1000 to 2500 psi

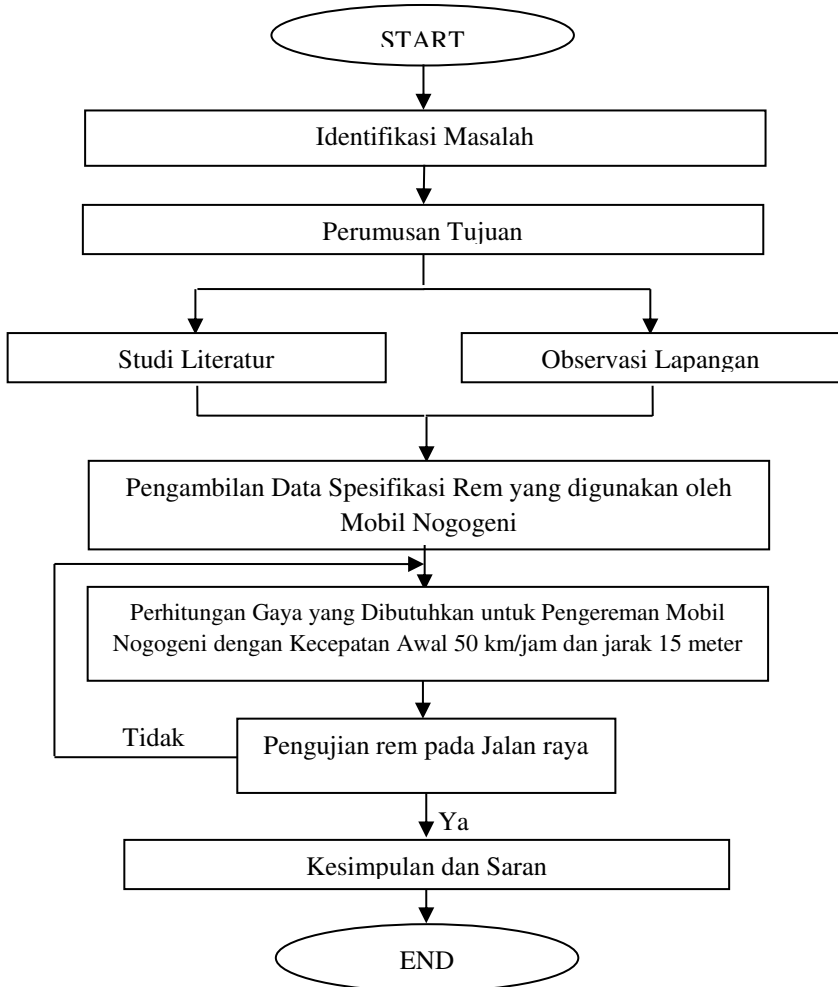
FS = 4 for pressures above 2500 psi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut ini adalah metode penelitian yang dipakai dalam proses perhitungan sistem rem hidraulik pada Nogogeni 3 Evo:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Penjelasan Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Proses dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini melalui beberapa tahap, diantaranya sebagai berikut :

3.2.1 Tahap Identifikasi

Pada tahapan awal identifikasi dilakukan pengamatan terhadap masalah yang dirumuskan menjadi tujuan dari penelitian. Studi literatur meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan *Braking System and Braking Equipments*. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber *text book* maupun modul yaitu teknologi otomotif teori dan aplikasinya oleh I Nyoman Sutantra, *Automotive Handbook 2nd edition* oleh Bosch, Teknologi Otomotif edisi ke 2 oleh Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc.,Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT, Analisis Gaya Pada Rem Cakram (*Disc Brake*) Untuk Kendaraan Roda Empat oleh Dr. Ir. Yanuar, Msc., M.Eng, Dita Satyadarma, ST., MT, Burhan Noerdin. Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin oleh Sularso dan Kiyokatsu Suga, dan beberapa sumber lain seperti jurnal ilmiah dan beberapa penelitian terdahulu. Kemudian dilakukan pengamatan lapangan secara langsung mobil Nogogeni 3 Evo. Observasi meliputi identifikasi spesifikasi komponen-komponen pada sistem pengereman mobil Nogogeni 3 Evo.

3.2.2 Tahap Pengambilan Data dan Analisis

Dari studi literatur dan observasi mengenai sistem pengereman pada mobil Nogogeni 3 Evo, dilakukan pengambilan data spesifikasi rem yang digunakan oleh mobil Nogogeni 3 Evo.

Setelah melakukan pengambilan data yang diperlukan, kemudian dilakukan perhitungan sistem pengereman hidrolik pada *disc brake* mobil Nogogeni 3 Evo

untuk mencari gaya yang dibutuhkan untuk pengereman dengan kecepatan awal 50 km/jam.

Selain itu, analisis juga dilakukan pada posisi duduk Driver mobil Nogogeni 3 Evo agar mampu menghasilkan gaya tekan yang dibutuhkan untuk sistem pengereman tersebut.

3.2.3 Tahap Penarikan Kesimpulan dan Saran

Tahapan ini merupakan ujung dari perhitungan dan analisis sistem pengereman hidraulik pada *disc brake* mobil Nogogeni 3 Evo, yaitu dengan menarik kesimpulan yang didapat dari hasil mencari gaya yang dibutuhkan untuk pengereman dengan kecepatan awal 50 km/jam dan kemampuan driver untuk mengerem. Kemudian memberikan saran untuk tim Nogogeni dan untuk penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijabarkan tentang perhitungan dan pembahasan sistem pengereman pada mobil Nogogeni 3 Evo. Perhitungan ini menggunakan batasan yaitu mobil melaju pada kecepatan 50 km/jam dan jarak pengereman 15 meter pada lintasan lurus dan datar.

4.1. Spesifikasi Mobil dan Sistem Pengereman pada Nogogeni 3 Evo

Berikut ini adalah data spesifikasi mobil Nogogeni 3 Evo yang digunakan dalam perhitungan

1. Panjang kendaraan (p) : 2500 mm
2. Wheelbase : 1610 mm
3. Lebar kendaraan (l) : 1230 mm
4. Tinggi kendaraan (t) : 1100 mm
5. Berat kosong (w) : 100 kg
6. Jarak pedal ke poros pedal (a) : 150 mm
7. Jarak push-rod ke poros pedal (b) : 50 mm
8. Diameter piston master silinder : 15.875 mm
9. Diameter piston Kaliper : 32.5 mm
10. Diameter disc brake : 220 mm
11. Koefisien gesek Kampas rem (μ_K) : 0.35
12. Kecepatan awal (V_0) : 13.8 m/s
13. Rolling resistance Coefficient : 0.015
14. Koefisien drag (C_d) : 0.34115342
15. Frontal area (A_F) : 1.009699 m²
16. Masa jenis udara ($T = 30^\circ C$) : 1.17 kg/m³

4.2. Analisis gaya pengereman yang dibutuhkan

Nogogeni 3 Evo menggunakan sistem pengereman hidraulik dengan *single piston floating caliper*, dan 2 master silinder digunakan untuk sistem pengereman tersebut. Mobil

berjalan pada kecepatan 50 km/jam dan diberi jarak 20 meter untuk *braking distance* [10], apabila lebih dari jarak yang ditentukan maka harus mengulang atau gugur dalam *scrutinnering*.

4.2.1 Perhitungan perlambatan

Telah ditentukan kecepatan mobil 50 km/jam dan *braking distance available* 20 meter, maka jarak pengereman yang diinginkan adalahh 15 meter, 5 meter sisanya dapat digunakan sebagai *safety distance* apabila terjadi hal yang tidak diinginkan. Untuk mengetahui gaya pengereman yang dibutuhkan maka dibutuhkan perhitungan sebagai berikut:

1. Percepatan Gerak Lurus Berubah Beraturan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{dv}{dt} \rightarrow dv = a dt \\
 \int_0^t dv &= \int_0^t a dt \\
 v - v_0 &= a(t - t_0) \\
 v &= v_0 + a \times \Delta t \\
 v &= v_0 + a \times t \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{ds}{dt} \rightarrow ds = v dt \\
 \int_0^t ds &= \int_0^t v dt \\
 \int_0^t ds &= \int_0^t (v_0 + a \times t) dt \\
 s - s_0 &= v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a \times t(t - t_0) \\
 s - s_0 &= v_0 \times t - v_0 \times t_0 + \frac{1}{2} a \times t^2 - \frac{1}{2} a \times t \times t_0
 \end{aligned}$$

$$s = v_0 \times t + \frac{1}{2} a \times t^2 \dots\dots\dots (2)$$

2. Perlambatan Gerak Lurus Berubah Beraturan

$$a = \frac{dv}{dt} \rightarrow \int_0^s a \, ds = \int_t^0 \frac{dv}{dt} \, ds$$

$$\int_0^s a \, ds = \int_t^0 dv \times v$$

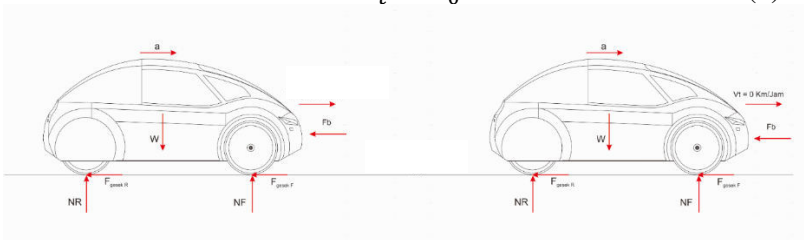
$$a(s - s_0) = \frac{1}{2} (v_0^2 - v_t^2)$$

$$2 \cdot a(s - s_0) = v_0^2 - v_t^2$$

$$2 \cdot a \times s - 2 \cdot a \times s_0 = v_0^2 - v_t^2$$

$$2 \cdot a \times s = v_0^2 - v_t^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 - 2 \cdot a \times s \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 4.1 *Free Body Diagram* perlambatan mobil

$$-V_t^2 = V_0^2 - 2 \times a \times s$$

$$0 = (13.8)^2 - 2 \times a \times 15m$$

$$a = \frac{(13.8)^2}{2 \cdot 15m}$$

$$a = -6.348 \, m/s^2$$

3. Waktu yang Dibutuhkan untuk Mengerem

$$v = v_0 + a \times t$$

$$0 = 13,8 + (-6.348 \times t)$$

$$-13,8 = -6.348 \times t$$

$$t = \frac{13,8}{6.348}$$

$$t = 2.174 \text{ s}$$

4.2.2 Gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan mobil

Untuk mengetahui gaya pengereman, pertama akan mencari jarak *center of gravity* pada arah horizontal dan vertikal. Menghitung Center of gravity dapat dihitung menggunakan perbandingan berat pada roda depan dan belakang.

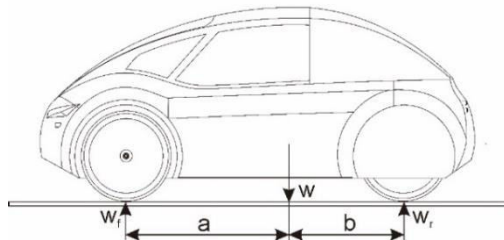
Diketahui :

$$L = \text{Wheelbase} = 1610 \text{ mm}$$

$$W_f = \text{Berat bagian depan} = 82 \text{ Kg} = 804,42 \text{ N}$$

$$W_r = \text{Berat bagian belakang} = 88 \text{ Kg} = 863,28 \text{ N}$$

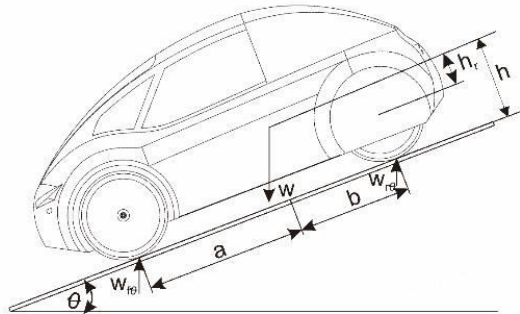
$$W = \text{Berat total} = 170 \text{ Kg} = 1667,7 \text{ N}$$



Gambar 4.1 Perhitungan Center of Gravity

$$\begin{aligned} a &= \frac{(a + b) W_r}{W_f + W_r} \\ &= \frac{L \cdot W_r}{W} \\ &= \frac{1610 \text{ mm} \times 863,28 \text{ N}}{1667,7 \text{ N}} \\ &= 833,412 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{(a + b)W_f}{W_f + W_r} \\
 &= \frac{L \cdot W_f}{W} \\
 &= \frac{1610 \text{ mm} \times 804,42 \text{ N}}{1667,7 \text{ N}} \\
 &= 776,588 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.1 Cara menghitung *Center of Gravity*

$$\begin{array}{ll}
 W_f = m \cdot g \cdot \cos \theta & W_r = m \cdot g \cdot \cos \theta \\
 = 82 \times 9,81 \times \cos 4,2^\circ & = 88 \times 9,81 \times \cos 4,2^\circ \\
 = 802,259 \text{ N} & = 860,961 \text{ N}
 \end{array}$$

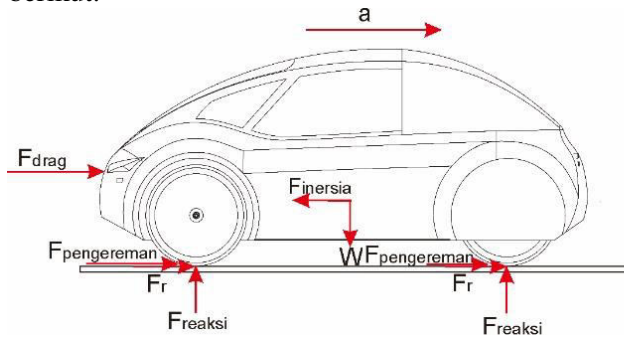
Maka perhitungan center of gravity ditinjau dari permukaan tanah adalah:

$$\begin{aligned}
 h &= r + h_r \\
 h &= r + \left[b - L \left(\frac{W_r}{W} \right) \right] \cot \theta \\
 &= 250 + \left[833,412 - 1610 \left(\frac{860,961}{1667,7} \right) \right] \cot 4,2^\circ \\
 &= 250 + [833,412 - 831,1729] 13,617 \\
 &= 250 + 30,489 \\
 &= 280,489 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

dari perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa center of Gravity Mobil Nogogeni sebagai berikut:

jarak dari roda depan : 833.412 mm
 jarak dari roda belakang : 776.588 mm
 jarak dari permukaan tanah : 280.489 mm

dengan perlambatan 6.348 m/s^2 , maka gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan mobil adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Free Body Diagram gaya yang bekerja

$$\begin{aligned} \leftarrow \uparrow \quad \sum F_y &= 0 \\ N_F + N_R - W &= 0 \\ N_F + N_R &= W \\ N_F + N_R &= m \times g \\ N_F + N_R &= (100 + 70) \times 9,81 \\ N_F + N_R &= 1667,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Mencari Gaya drag (F_D) dan Rolling resistance (F_g)

Berikut adalah perhitungan besarnya gaya drag pada mobil Nogogeni 3 Evo :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A_F$$

$$F_D = \frac{1}{2} \times 1.17 \times 13.8^2 \times 0.34115342 \times 1.009696461$$

$$F_D = 38.3756 \text{ N}$$

Untuk mengetahui besarnya gaya gesek yang terjadi antara roda dengan jalan, maka perlu diketahui nilai dari *coefficient of rolling resistance* roda, sehingga didapatkan *rolling resistance* dari perhitungan berikut :

$$F_g = \mu \times (N_F + N_R)$$

$$F_g = 0.015 \times 1667.7 \text{ N}$$

$$F_g = 25.0155 \text{ N}$$

Maka, gaya total yang dibutuhkan untuk menghentikan mobil :

$$\sum \vec{F}_x = 0$$

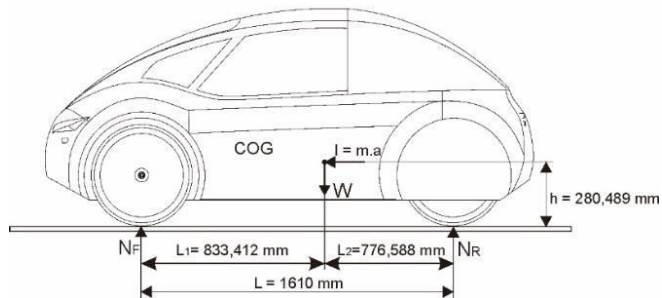
$$F_B + F_g + F_D = m \times a$$

$$F_B = m \times a - F_D - F_g$$

$$F_B = 170 \times 6.348 - 38.3756 - 25.0155$$

$$F_B = 1015.7689 \text{ N}$$

Tumpuan pada roda depan dan belakang saat terjadi pengereman :



Gambar 4.4 Reaksi tumpuan roda saat pengereman

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$I = 0$$

$$m \times a = 0$$

$$170 \times 6.348 = 0$$

$$1079.16 = 0$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$N_f + N_R = 0$$

$$N_f + N_R = W$$

$$N_f + N_R = 1667.7 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_b$$

$$= 0$$

$$N_f \times L_0 - W \times L_1 + I \times h + N_r \times L$$

$$= 0$$

$$0 - 1667.7 \times (833.412) + 1079.16 \times (280.489) + N_r \times 1610$$

$$= 0$$

$$-1389881.192 + 302698.509 + 1610N_r = 0$$

$$1610N_r = 1087188.6834$$

$$N_r = 675.272 \text{ N}$$

Maka dari persamaan sebelumnya, N_f dapat dihitung dengan:

$$N_f + N_R = 1667.7 \text{ N}$$

$$N_f + 675.272 = 1667.7 \text{ N}$$

$$N_f = 992.428 \text{ N}$$

Pada saat melakukan pengereman gaya rem terbesar berada pada roda depan seperti diketahui pada perbandingan berikut ini

$$\begin{aligned} K_f &= \frac{W_F}{W} \\ &= \frac{992.428}{1667.7} \\ &= 0,595 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_r &= \frac{W_R}{W} \\ &= \frac{675.272}{1667.7} \\ &= 0,405 \end{aligned}$$

Gaya Pengereman pada Roda Depan dan Belakang:

$$\begin{aligned}
 F_{front} &= K_f \cdot F_{rem} \\
 &= 0,595 \times 1015.7689 \\
 &= 604.38249 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{rear} &= K_r \cdot F_{rem} \\
 &= 0,405 \times 1015.7689 \\
 &= 411.386 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Gaya pengereman pada roda

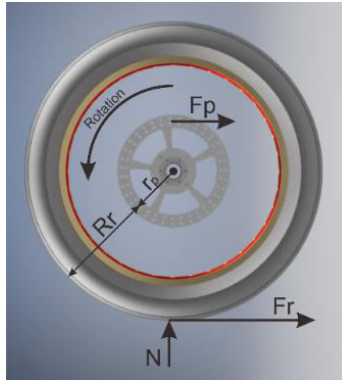
Braking force pada roda dihitung berdasarkan gaya terbesar yang diterima roda, yaitu pada roda depan. Untuk tiap roda depan, maka gaya pengereman (F_{front}) tersebut dibagi 2 sama kiri dan kanan.

$$\begin{aligned}
 F_B \text{ pada tiap Roda} &= \frac{F_{front}}{2} \\
 &= \frac{604.38249 \text{ N}}{2} \\
 &= 302.1912 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Gaya pengereman pada Disc Brake

Roda dan *Disc Brake* terpasang pada satu poros, sehingga torsi pada roda sebanding dengan torsi pada *Disc brake* atau Piringan cakram, maka gaya yang dibutuhkan pada *Disc Brake* untuk menghentikan mobil adalah :

$$\begin{aligned}
 F_R \times r_R &= F_P \times r_p \\
 374.24485 \text{ N} \times 0.2409 \text{ m} &= F_P \times 0.11 \text{ m} \\
 F_P &= \frac{302.1912 \text{ N} \times 0.2409 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} \\
 F_P &= 661.7988 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 *Free body diagram pada Roda*

4.2.5 Gaya tekan pada Kampas rem

Gaya gesek pada kampas rem dan piringan cakram yang terjadi tergantung pada koefisien gesek dan gaya tekan pada kampas rem. Apabila gaya gesek pada piringan cakram yang dibutuhkan sebesar 819.596 N, maka gaya tekan pada kampas rem sebesar:

$$F_p = F_K \times \mu_K$$

$$851.553 \text{ N} = F_K \times 0.35$$

$$F_K = \frac{661.7988 \text{ N}}{0.35}$$

$$F_K = 1890.853 \text{ N}$$

4.2.6 Perhitungan tekanan hidrolik pada *brake line*

Gaya tekan yang dihasilkan oleh kampas rem berasal dari tekanan cairan rem pada Brake line yang menekan Piston kaliper, apabila diketahui gaya tekan yang dibutuhkan maka tekanan pada Brake line dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$F_{Kampas} = P_{Brake\ line} \times A_{Piston\ Kaliper}$$

$$1890.853 \text{ N} = P_{Brake\ line} \times \frac{\pi}{4} \times D_{Kaliper}^2$$

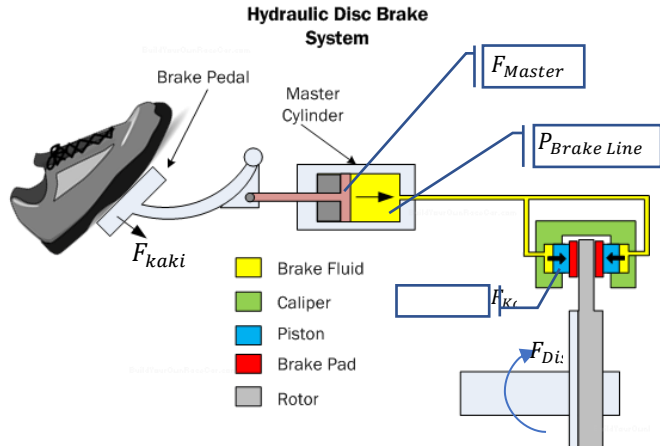
$$1890.853 \text{ N} = P_{\text{Brake line}} \times \frac{3.14}{4} \times 0.0325^2$$

$$P_{\text{Brake line}} = \frac{1890.853/}{8.2915 \times 10^{-4}}$$

$$P_{\text{Brake line}} = 2280471,567 \text{ N/m}^2$$

4.2.7 Gaya yang dibutuhkan pada master silinder

Tekanan cairan rem pada kaliper, brake hose, dan master silinder sama, tekanan tersebut berasal dari gaya yang diaplikasikan pada Master silinder, maka gaya tekan kaki yang dibutuhkan adalah:



Gambar 4.6 Gaya yang bekerja pada sistem Pengereman [3]

$$F_{\text{Master}} = P_{\text{Brake line}} \times A_{\text{Piston master silinder}}$$

$$= 2.280.471,567 \text{ N/m}^2 \times \frac{\pi}{4} \times D^2$$

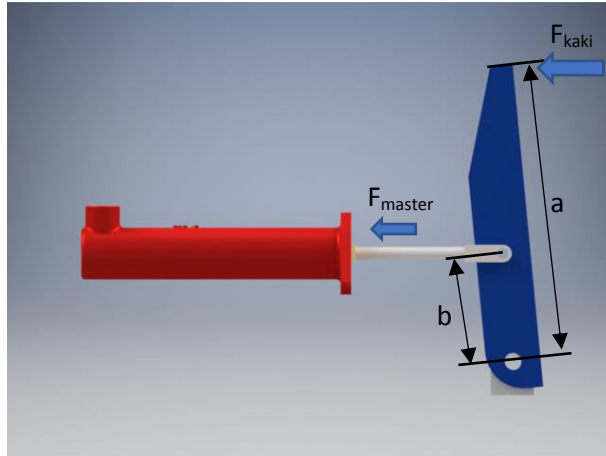
$$= 2.280.471,567 \text{ N/m}^2 \times \frac{3.14}{4}$$

$$\times 0.015875^2$$

$$= 451.150 \text{ N}$$

4.2.8 Gaya dorong yang diaplikasikan oleh kaki Driver

Gaya dorong yang bekerja pada Master Silinder berasal dari gaya dorong kaki Driver, besar gaya tersebut bergantung pada besarnya gaya tekan kaki dan perbandingan panjang pedal sebagai pengungkit. Maka gaya kaki yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7 Perbandingan panjang pedal

$$\begin{aligned}
 F_{master\ silinder} &= F_{kaki} \times \frac{a}{b} \\
 451.150\ N &= F_{kaki} \times \frac{150mm}{50mm} \\
 F_{kaki} &= \frac{451.150\ N}{3} \\
 F_{kaki} &= 150.3833\ N \\
 F_{kaki} &= 15.329\ kgf
 \end{aligned}$$

4.2.9 Gaya tekan kaki total yang dibutuhkan

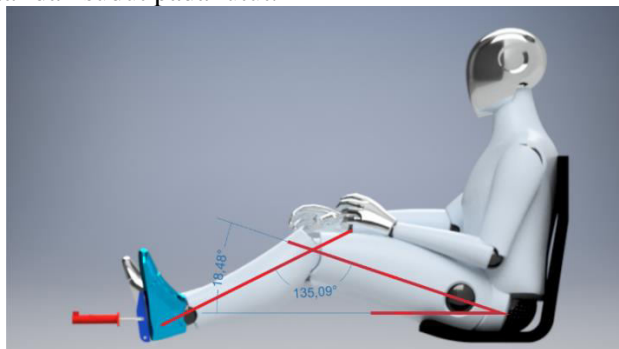
Karena mobil Nogogeni 3 Evo menggunakan 2 master silinder, maka mobil ini juga terdiri dari 2 sirkuit pengereman, satu srkuit untuk ban depan kiri dan belakang

kanan, sedangkan sirkuit lainya untuk ban depan kanan dan belakang kiri. Kami sengaja memasang 2 master silinder untuk safety apabila terjadi kegagalan pada salah satu sistem pengereman, dengan adanya 2 master silinder maka gaya tekan kaki yang dibutuhkan untuk menghasilkan tekanan saat pengereman juga dikalikan 2, sehingga:

$$\begin{aligned} F_{total} &= 15.329 \text{ kgf} \times 2 \\ &= 30.658 \text{ kgf} \end{aligned}$$

4.3 Kapabilitas kaki driver untuk mengerem

Menurut data dari NASA *Man-System Integration Standards*, dengan posisi duduk yang tepat seorang laki-laki dewasa dapat mengaplikasikan gaya hingga 2500 N atau 254.841 kgf. Berikut grafik hubungan sudut paha terhadap bidang datar dan sudut pada lutut.

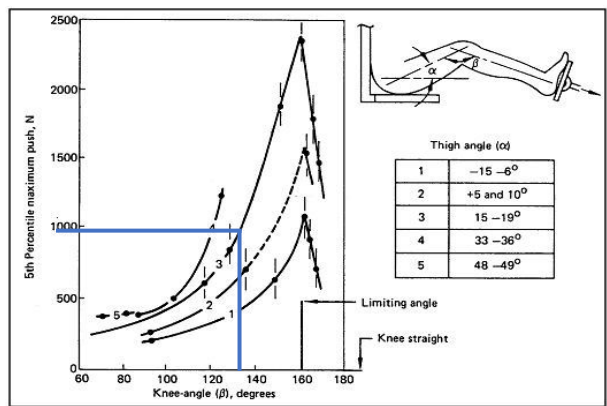


Gambar 4.8 Posisi duduk Driver pada mobil Nogogeni 3 Evo

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa driver mobil Nogogeni 3 Evo diharapkan dapat memberi gaya tekan kaki hampir 1000 Newton, ini sudah dianggap cukup untuk melakukan pengereman sesuai dengan perhitungan diatas. Apabila gaya tekan yang diaplikasikan oleh kaki lebih besar dari perhitungan, maka dapat dipastikan braking distance akan lebih pendek.

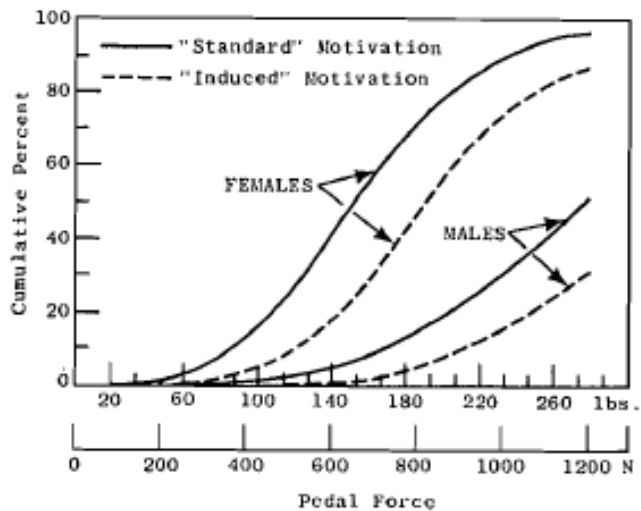
Selain standar NASA, penelitian yang dilakukan oleh R. G. Mortimer, menunjukan bahwa pengemudi Laki-laki dewasa

dapat mengaplikasikan gaya pedal hingga 1200 Newton pada kendaraan umum atau mobil konvensional.



Reference: 1, p. 115; NASA-STD-3000 206

Gambar 4.6 Foot force capabilities NASA-MSIS [14]



Gambar 4.7 Male and Female Pedal Force when Braking [15]

4.4 Pemilihan Selang Rem pada Nogogeni 3 Evo

Pada mobil Nogogeni 3 Evo, sebelumnya menggunakan selang *Plastic Tubing* yang digunakan untuk sepeda, karena gaya pengereman lebih besar akibat dari penambahan Berat dan Kecepatan, maka penggunaan selang rem Sepeda digantikan oleh selang rem sepeda motor dengan bahan diperkuat *Steel Braided* dengan standar SAE J1401.

Tekanan pada sistem pengereman Nogogeni berada pada $2280471,567 \text{ N/m}^2$ atau 330,754 Psi. Maka *working pressure* selang rem tersebut dapat dihitung dengan:

Working Pressure (WP)

Asumsi: SF (Safety Factor) = 6

Karena tekanan sistem adalah 330,754 psi

Maka,

$$WP = \frac{BP}{SF}$$

$$WP = \frac{7000 \text{ Psi}}{6}$$

$$WP = 1166,67 \text{ Psi}$$

Dari perhitungan diatas, *burst pressure* selang didapat dari datasheet SAE J1401 revisi 2003, dan selang yang dipilih dapat dikatakan aman untuk digunakan karena *working pressure* nya diatas *system pressure* pada sistem pengereman Mobil Nogogeni.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tekanan hidraulik pada selang rem mobil Nogogeni 3 Evo saat mengerem sebesar 330,754 psi.
2. Gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan pada keadaan jalan datar dan lurus dengan kecepatan mobil 50 kilometer per jam sebesar 1015.7689 N
3. Gaya tekan kaki yang dibutuhkan untuk mengerem pada jalan datar dan lurus dengan kecepatan mobil 50 kilometer per jam sebesar 30.658 *kgf* Berdasarkan data dari NASA, posisi Driver nogogeni dapat menghasilkan gaya hingga mendekati 1000 N atau 101.9 *kgf*, maka dapat diasumsikan bahwa Driver mampu untuk menghasilkan gaya pengereman minimal yang dibutuhkan untuk menghentikan mobil pada jarak yang sudah ditentukan.

5.2 Saran

Dalam upaya meningkatkan dan memperbaiki performa pengereman pada mobil Nogogeni, maka pihak Team perlu memperhatikan dalam pemilihan jenis kaliper, sambungan selang (*T-Joint*), pembuatan pedal dan *bracket* kaliper. Karena hal-hal tersebut sangat mempengaruhi performa pengereman pada mobil.

Harapan penulis agar menggunakan *fixed caliper* agar sistem pengereman pada mobil bekerja lebih baik dan penempatan kaliper yang mudah, menggantikan *sliding caliper* yang sudah digunakan dan di modifikasi sedemikian rupa agar dapat digunakan.

Pada perhitungan sistem pengereman mobil Nogogeni 3 Evo ini masih belum sepenuhnya sempurna, in dikarenakan masih banyak parameter yang tidak dihitung dalam penelitian ini.

Semoga penelitian-penelitian pada sistem pengereman mobil Nogogeni 3 Evo mampu memberikan hasil yang lebih akurat, selain itu semoga tugas akhir ini mampu dijadikan referensi kepada peneliti lain, serta memberikan manfaat pada team Nogogeni untuk mengetahui kondisi pengereman yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dr. Ir. Yanuar, Msc., M.Eng, Dita Satyadarma, ST., MT, Burhan Noerdin. "*Analisis Gaya Pada Rem Cakram (Disk Brake) Untuk Kendaraan Roda Empat*". Universitas Gunadarma.
- [2] Typical Drum brake and Disc Brake on car, Pinterest.com (diakses 3 april)
- [3] How Hydraulic Brake system work, Quorra.com (diakses 3 april)
- [4] hydraulic caliper, engineeringinspiration.uk (diakses 3 april)
- [5] Ardianti, Sherly. 2016. Perhitungan Ulang Sistem Rem Hidraulik Mobil Urban Konsep Ethanol Basudewo (Tugas Akhir). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [6] Brake booster, how it works and common problem, Acgauto.com (diakses 1 juni)
- [7] Ulrich, Al dler.1993. Automotive Handbook, 2nd Editions. Robert Bosch GmbH.1993
- [8] Yahya, Iffan. 2015. Pemodelan Medan Aliran 3 Dimensi pada Bodi Mobil Urban Nogogeni 3 (Tugas Akhir). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [9] Koch, Norman. 2017. Shell Eco-Marathon Asia, Official Rules Chapter 1. Shell.
- [10] Koch, Norman. 2017. Drivers World Championship, Chapter III. Shell.

- [11] Oktora, Fransiscus. *Hukum-Hukum Newton tentang Gerak*.https://www.academia.edu/4907196/HUKUM_HUKUM_NEWTON_TENTANG_GERAK. (diakses 05 Mei 2017)
- [12] Pascal Law, *Aplusphysics.com*
- [13] http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/17021/7/07_chapter%202.pdf. (diakses 05 Mei 2017)
- [14] https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section04.htm#_4.9_STRENGTH. (diakses 05 Mei 2017)
- [15] R. G. Mortimer, L. Segel, H. Dugoff, J.D. Campbell, C.M. Jorgeson, R.W. Murphy, Brake Force Requirement Study: Driver-Vehicle Braking Performance as a Function of Brake System Design Variables

Lampiran 1

Kaliper Rem dan Sepatu Rem



Lampiran 2

Roda dan Rotor/*Disc Brake*



Lampiran 3

Steel braided Flexible hose SAE J1401, ID 3.2 mm (1/8 in)



Lampiran 4
Master silinder

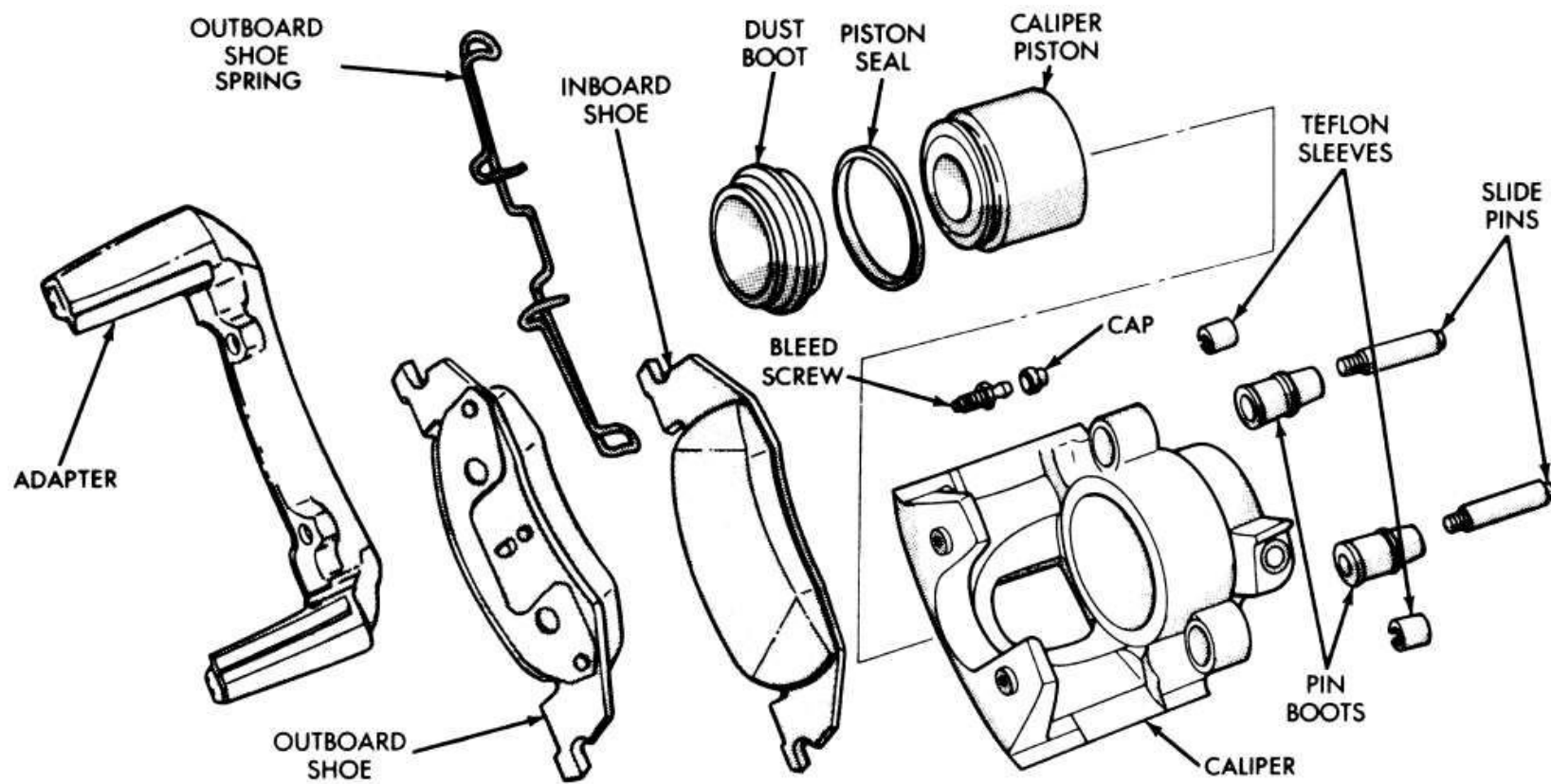


Lampiran 5
Mobil Nogogeni



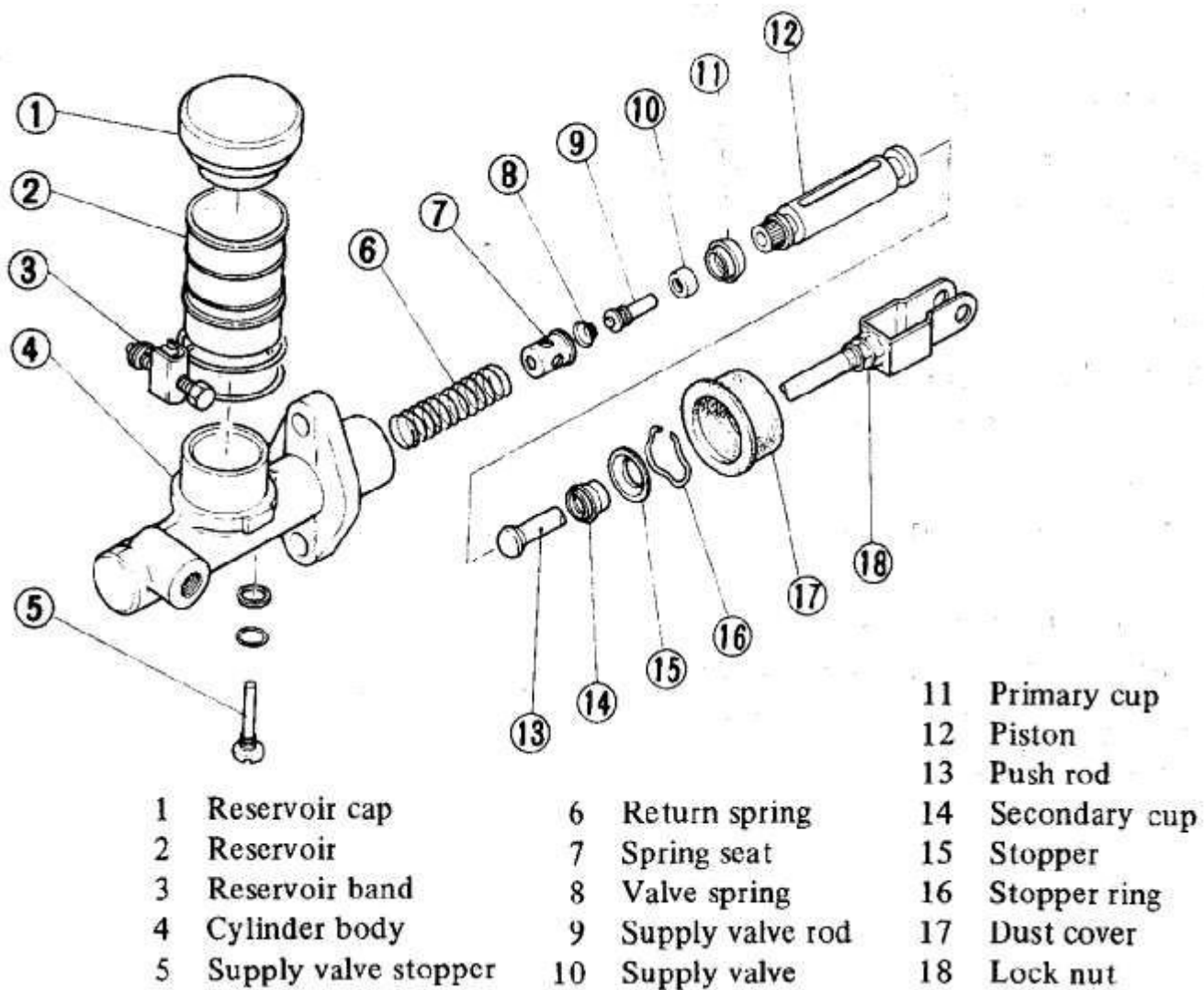
Lampiran 6

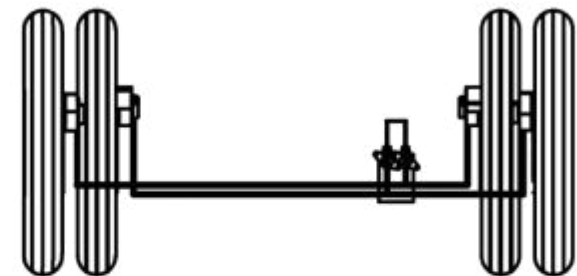
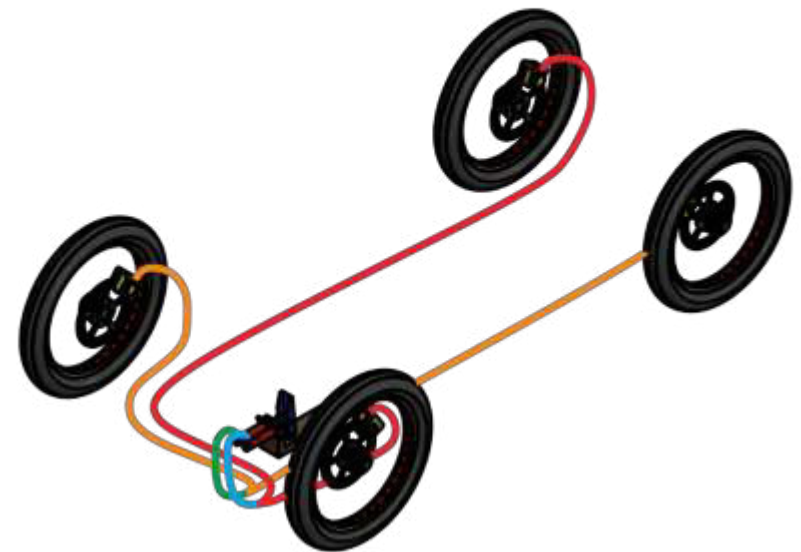
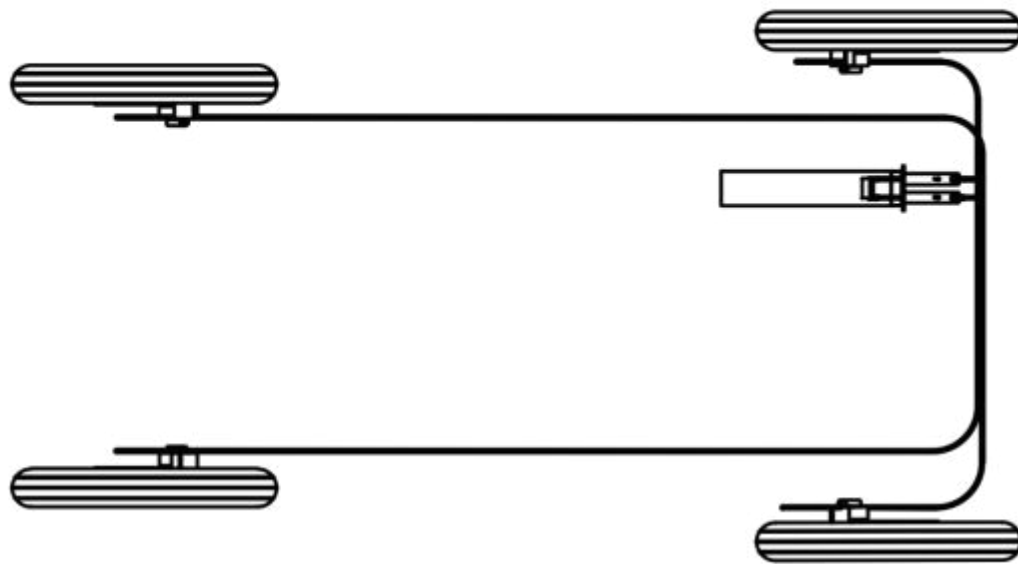
Bagian-bagian dari Sliding Caliper

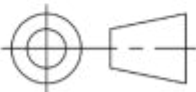


Lampiran 7

Bagian-bagian dari Master Silinder





| | | | | |
|--|----------------|-------------------------------------|-------------|----|
|  | SKALA : 0.05:1 | DIGAMBAR: HAFIDH ALDIZA | PERINGATAN: | |
| | SATUAN : mm | NRP : 2114 030 052 | | |
| | TANGGAL: | DILIHAT : Ir. ARINO ANZIP, M.Eng.SC | | |
| D3 TEKNIK MESIN | | BRAKE LINE | | A4 |

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Kediri pada tanggal 24 Januari 1996, dari pasangan Bapak Zaenal Arifin dan (Alm.) Ibu Diyah Hari Prayogi. Penulis merupakan anak pertama dari 5 bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang pernah ditempuh adalah TK Perwanida MAN 3 Kota Kediri, SDN Burengan 2 Kota Kediri, SMPN 3 Kota Kediri, dan SMAN 1 Kota Kediri.

Pada tahun 2014 penulis mengikuti ujian masuk Program Diploma III ITS dan diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 2114 030 052. Penulis mengambil bidang keahlian Konversi Energi sesuai dengan kelas yang diikuti

Penulis aktif dalam mengikuti berbagai pelatihan *leadership* dan organisasi. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis, antara lain: LKMM Pra-TD FTI-ITS, LKMM TD 8 FTI-ITS, PKTI (Pelatihan Karya Tulis Ilmiah). Organisasi yang pernah diikuti oleh penulis, yaitu: Nogogeni D3 Teknik Mesin ITS Team (2015-2016 Sebagai Staff Chassis and Steering), (2016-2017 Sebagai Koordinator Chassis and Steering).

Alamat email: hafidhaldiza@gmail.com